

INTERFEROMETRO DI MICHELSON

**Esperienza effettuata il giorno 14 gennaio 1997 da :
Maurizio Antonelli
Rosa De Matteis
Myra Cardellina**



Some rights reserved: <http://www.maury.it#licenza>

Scopo dell'esperienza:

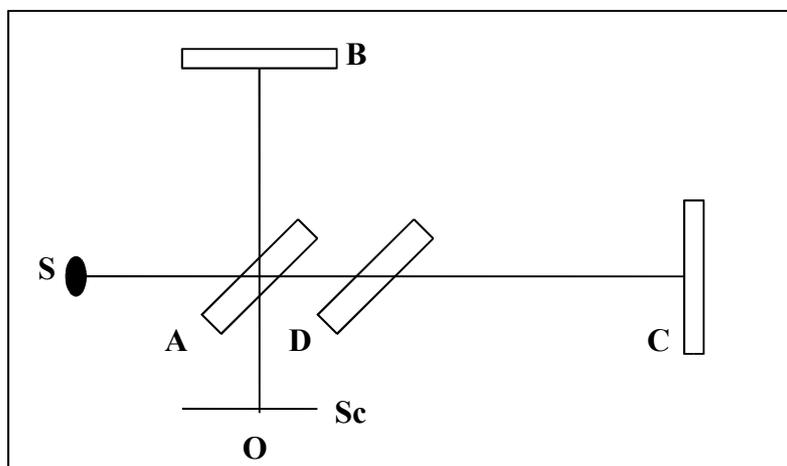
- misura di lunghezze d'onda di un fascio di luce monocromatica
- misura dell'indice di rifrazione dell'aria del laboratorio
- misura della lunghezza di pacchetti d'onda di una sorgente non monocromatica
- misura della separazione tra le 2 lunghezze d'onda del sodio (Na)

Strumenti a disposizione:

- 1) Laser (He - Ne)
- 2) Lente divergente
- 3) Cameretta di vetro cilindrica
- 4) Lampada al sodio
- 5) Lampada ad incandescenza
- 6) Filtro colorato giallo e filtro interferenziale
- 7) Lastrina diffondente
- 8) Schermo
- 9) Supporti
- 10) Interferometro di Michelson

Il contefrange purtroppo non l'avevamo.

- 1) Il laser (He - Ne) è servito a fornire luce altamente monocromatica.
- 2) La lente divergente serviva ad allargare il fascio luminoso ed a illuminare uniformemente lo specchio semitrasparente.
- 3) Nella cameretta di vetro cilindrica si è potuto creare il vuoto tramite una pompa.
- 4) La lampada al Na ci è servita in quanto fornisce una radiazione luminosa di due lunghezze d'onda diverse.
- 5) La lampada a incandescenza fornisce luce bianca.
- 10) L'interferometro di Michelson può essere schematicamente rappresentato come in questa figura:



E' costituito da 4 lastre di vetro a facce piane e parallele A,B,C,D. La lastra A è semiriflettente. Il fascio di luce proveniente dalla sorgente S viene diviso in A in due raggi. Il primo viene mandato verso lo specchio B e quindi viene riflesso di nuovo verso A, la attraversa e giunge sullo schermo Sc. Il secondo raggio, invece, attraversa A, attraversa D, viene riflesso da C, riattraversa D e viene infine riflesso da A verso lo schermo Sc. La lastra compensatrice D ha lo stesso spessore di A ed è disposta parallelamente alla lastra A. Questa lastra è necessaria per compensare il fatto che il raggio riflesso dallo specchio B attraversa 3 volte la lastra A mentre il raggio riflesso da C attraversa A una sola volta.

B e C sono specchi totalmente riflettenti.

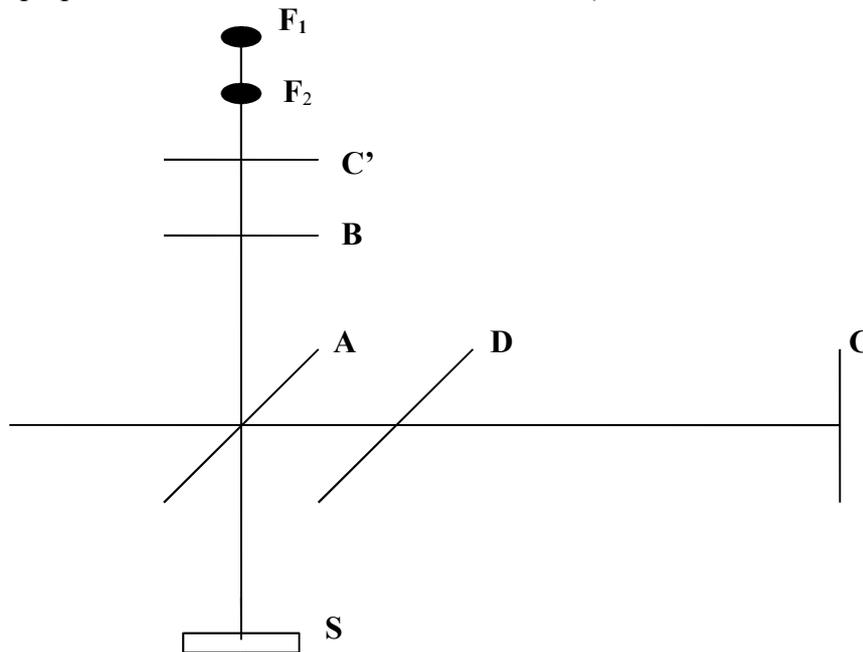
Lo specchio C è dotato di due viti micrometriche che permettono di aggiustare l'inclinazione di C, in modo che i fasci riflessi da C e da B si sovrappongono, ossia affinché C e B siano perfettamente ortogonali tra loro.

B è invece uno specchio mobile il cui spostamento può essere regolato da una vite micrometrica, sensibile al centesimo di millimetro ed è ridotto di 1/5 rispetto a quello della vite da un sistema di leve interposte.

Descrizione del fenomeno di interferenza

I due fasci di luce che si incontrano su A, in quanto ottenuti per scissione di un unico raggio, sono coerenti e per questo ha origine il fenomeno dell'interferenza.

Tutto il sistema ottico produce due immagini virtuali puntiformi della sorgente: F_1 e F_2 . Lo schermo "vede" un'immagine dalla riflessione su B (F_2) e una riflessione su C (F_1). C'è l'immagine virtuale di C prodotta da A. Le due immagini virtuali F_1 e F_2 sono per lo schermo 2 sorgenti puntiformi allineate su una perpendicolare ad esso e distanti fra loro $2d$ (d =distanza tra B e C').



Le due sorgenti F_1 e F_2 che lo schermo vede sono coerenti.

I punti dello spazio nei quali i raggi provenienti da F_1 e quelli provenienti da F_2 si incontrano in fase hanno massima intensità luminosa $I=4I_0$. I punti dove si incontrano in opposizione di fase hanno intensità luminosa nulla. Punti per i quali la differenza di fase è fissa hanno una data intensità luminosa $I=\text{cost}$.

Nello spazio le superfici sulle quali è costante l'intensità luminosa sono le superfici per i punti delle quali è costante la differenza di fase.

La differenza di fase in un punto P dipende dalla differenza di cammino ottico che percorrono le 2 onde prima di incontrarsi, cioè dalla differenza delle distanze di F_1 ed F_2 da P.

Da tutto ciò segue che le superfici di equintensità luminosa sono IPERBOLOIDI DI ROTAZIONE attorno alla retta di F_1 e F_2 con fuochi F_1 e F_2 . Intersecando tale famiglie di iperboloidi con lo schermo si visualizzano su di esso circonferenze con intensità luminosa diversa a seconda del raggio (frange di interferenza circolari).

Spostando lo specchio mobile (variando d) varia la differenza di fase dei raggi che si incontrano in un punto. Se in P_0 c'è un massimo, spostando per esempio indietro B di $\lambda/4$, allora F_1F_2 diminuisce di $\lambda/2$ e si ha così un minimo in P_0 . Spostando di altrettanto, ritorna un massimo in P_0 e così via. Diminuendo d gli anelli si spostano verso il centro e diventano meno numerosi.

La prima esperienza che abbiamo effettuato è stata la misura della lunghezza d'onda della luce prodotta dal laser.

Dopo aver acceso il laser, sullo schermo erano proiettati due terne di puntini rossi. Spostando le viti micrometriche di C abbiamo fatto sovrapporre le due terne. Con ciò abbiamo reso in prima approssimazione B e C perpendicolari. Poi abbiamo introdotto tra il laser e lo specchio A una lente divergente (biconcava). Sullo schermo sono comparse frange luminose non ancora circolari. Siamo intervenuti ancora sulle due viti di C fino ad ottenere sullo schermo la figura di interferenza a frange circolari. Abbiamo quindi portato a zero la vite micrometrica di B e abbiamo iniziato la misurazione. Abbiamo quindi deciso di spostare la vite di B di 0.25 mm, pari ad uno spostamento di B di 50 μm. Spostando molto, ma molto lentamente (in apnea) la vite, abbiamo contato il numero di frange oscure o luminose che attraversano il centro della figura.

Abbiamo effettuato 3 conteggi, 1 a persona con i seguenti risultati.

1) 160 frange

2) 158 frange

3) 157 frange

Il valor medio è 158.3 frange.

$$\text{La deviazione standard} = \sqrt{\frac{1}{2} \sum (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{2.3} = 1.528 \text{ conteggi}$$

$$\text{La deviazione standard della media} = \text{dev. stand.} / \sqrt{3} = 0.882 \text{ conteggi}$$

$$\text{Numero dei conteggi} = 158.333 \pm 0.882 = N_1$$

Lo spostamento $\Delta x = 50 \mu\text{m}$ subito dallo specchio B è legato al numero N_1 di frange oscure o luminose che sono state contate dalla relazione:

$$2 * n_a * \Delta x = N_1 * \lambda$$

Il termine $2 * n_a * \Delta x$ rappresenta la variazione di cammino ottico del raggio luminoso nel tratto AB (andata e ritorno) ed n_a rappresenta l'indice di rifrazione dell'aria per le condizioni di pressione e temperatura del laboratorio.

$$\lambda_b = \frac{2 * n_a * \Delta x}{N_1} = \frac{2 * 50 * m_a}{158.333} = 0.632 * n_a \mu\text{m}$$

$$\delta_\lambda = \left| \frac{d\lambda}{dN_1} \right| * 0.882 = 2 * 50 * n_a * \left(- \frac{1}{25068.444} \right) * 0.882 = 0.004 * n_a \mu\text{m}$$

$$\lambda = (0.632 * n_a \pm 0.004 n_a) \mu\text{m}$$

La seconda misura è stata quella dell'indice di rifrazione dell'aria.

Abbiamo inserito tra A e B una cameretta cilindrica di lunghezza $D = 5 * 10^4 \mu\text{m}$ (5 cm), nella quale, mediante una pompa poteva essere praticato il vuoto. L'aria poteva essere fatta rientrare più o meno lentamente mediante una valvola a spillo. Facendo rientrare gradualmente l'aria nella cameretta, abbiamo osservato sullo schermo un succedersi di frange di interferenza dovuto ad un aumento progressivo del cammino ottico compiuto dal fascio di luce laser all'interno della cameretta (l'indice di rifrazione cresce dal valore $n=1$ (vuoto) ad $n=n_a$ (aria a pressione atmosferica). Il cammino ottico al termine del rientro d'aria sarà variato della quantità:

$$\Delta s = 2 * (n_a - 1) * D$$

in cui il fattore 2 tiene conto del fatto che la luce attraversa 2 volte la cameretta.

Facendo rientrare l'aria lentamente, abbiamo contato il succedersi in un punto dello schermo delle frange luminose; sapendo che se scorrono N_2 frange luminose in un punto, il cammino ottico Δr varia di $N_2 * \lambda$, per cui possiamo scrivere

$$2 * (n_a - 1) * D = N_2 * \lambda$$

Abbiamo effettuato 3 conteggi di N_2 e abbiamo ottenuto i seguenti risultati:

1) 43 2) 43 3) 44

Il numero medio dei conteggi è dato da

$$N_2 = 43.333 \pm 0.333$$

Risolvendo il sistema seguente:

$$2 * n_a * \Delta x = N_1 * \lambda$$

$$2 * (n_a - 1) * D = N_2 * \lambda$$

abbiamo ottenuto i valori di λ e n_a

$$\lambda = (0.632 \pm 0.004) \mu\text{m}$$

$n_a = 1.00027$ con incertezza alla sesta cifra decimale

La terza esperienza è stata la misura della lunghezza del pacchetto d'onda emesso dalla luce bianca di una lampada ad incandescenza.

La lampada ad incandescenza è una sorgente non monocromatica, in quanto non ammette una sinusoide infinita, ma pacchetti d'onda di lunghezza L . Ne consegue che si hanno frange di interferenza visibili solo se sullo schermo si incontrano due semipacchetti che provengono dalla divisione dello stesso pacchetto. Le frange sono colorate dato che le varie lunghezze d'onda che formano la luce bianca hanno interferenza costruttiva o distruttiva in punti diversi dello schermo. Partendo dalla situazione in cui sono uguali i cammini ottici lungo i due bracci ($AC=AB$), abbiamo osservato sullo schermo una figura di interferenza molto netta, allontanandoci lentamente da questa condizione (muovendo B) la figura di interferenza è andata sbiadendo fino a raggiungere una condizione di illuminazione uniforme dello schermo.

Misurando lo spostamento dello specchio B che porta da una condizione di luminosità uniforme dello schermo, ad una condizione di interferenza netta e quindi di nuovo ad una condizione di luminosità uniforme, si ottiene con una buona approssimazione la lunghezza L del pacchetto d'onda.

$$\Delta x = L$$

Abbiamo effettuato 3 misure degli intervalli agendo sulla vite di B, ottenendo i seguenti intervalli:

1) 22.44-22.47 2) 22.44-22.47 3) 22.44-22.47

L'intervallo è stato quindi di 0.03 mm, 3 tacche sulla vite, pari ad uno spostamento dello specchio di 6 μm .

La lunghezza del pacchetto d'onda è quindi di 6 μm con incertezza nulla.

Interponendo, poi, dei filtri fra la sorgente e l'interferometro abbiamo ottenuto questi risultati:

Con filtro interferenziale $\lambda = 18 \mu\text{m}$

Con filtro giallo $\lambda = 8 \mu\text{m}$

La lunghezza di questi due pacchetti che abbiamo misurato, risulta maggiore della lunghezza dei pacchetti di luce bianca, in quanto abbiamo usato una luce maggiormente monocromatica.

L'ultima esperienza è stata la misura della separazione tra le due lunghezze d'onda del sodio.

Abbiamo sostituito la lampada ad incandescenza con una lampada a vapori di sodio e abbiamo tolto la lente divergente. Questa lampada emette 2 righe monocromatiche di intensità simile e separazione piccola rispetto a l media.

Per misurare la lunghezza d'onda media abbiamo proceduto come per la prima esperienza ottenendo i risultati:

1) 171 conteggi

2) 173 conteggi

3) 166 conteggi

$$\bar{x}=170 \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{1}{2}(1+9+16)} = \sqrt{13} \quad \bar{\sigma}_x = \frac{\sqrt{13}}{\sqrt{3}} = 2.082$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 1.00027 \cdot 50}{170 + 2.082} = (0.588 \pm 0.007) \mu\text{m} \quad \bar{\lambda} = (5880 \pm 70) \text{ \AA}$$

Per vedere le frange abbiamo posto una lastrina semidiffondente prima dello specchio semiriflettente e abbiamo osservato le frange direttamente nell'interferometro.

Sullo schermo si ha la sovrapposizione delle frange d'interferenza dovute alle due diverse lunghezze d'onda λ_1 e λ_2 . Se la posizione di B è tale per cui si sovrappongono le frange scure di λ_1 e λ_2 e le frange chiare di λ_1 e λ_2 , sullo schermo si ha un sistema di frange nitido. Se invece le frange scure di λ_1 si sovrappongono alle frange chiare di λ_2 , la figura di interferenza svanisce.

Partendo dalla condizione di frange nitide si sposta B fino alla sparizione delle frange e si ricava la variazione di cammino ottico d.

Noi abbiamo misurato la variazione di cammino ottico 2d tra due sparizioni delle frange con i seguenti risultati:

$$1) 20.31-18.84=1.47 \quad 2) 20.35-18.87=1.48 \quad 3) 20.27-18.81=1.46$$

$$\bar{n}=147 \text{ tacche} \quad \delta_n = \sqrt{\frac{1}{2}(2)} = 1$$

$$\delta_n = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.6$$

$$\text{tacche} = 147 \pm 0.6$$

$$d(\text{spost.specchio}) = (147 \pm 0.6) \cdot 2 = (294 \pm 1.2) \mu\text{m} = (294 \pm 2.4) \cdot 10^4 \text{ \AA}$$

$$2d(\text{variaz.cammino ottico}) = (588 \pm 4.8) \cdot 10^4 \text{ \AA}$$

$$\text{Dalla formula : } d = N\lambda_2 = (N + \frac{1}{2})\lambda_1 \text{ si ricava che } \Delta l = \frac{\bar{\lambda}^2}{2d}$$

$$\text{e quindi : } \Delta l = (5.884 \pm 0.28) \text{ \AA}$$