

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

LABORATORIO DI FISICA II

Michelson

AUTORI - GRUPPO A02

Nascimben Mia

Appoloni Alberto

Rossignoli Emanuele

13 giugno 2021

1 Abstract

L'esperienza è centrata sulla verifica del funzionamento dell'interferometro Michelson e del suo impiego per ricavare l'indice di rifrazione incognito di una lastra di plexiglas.

In assenza di ostacoli sul percorso è stata fatta variare la lunghezza di uno dei due bracci, inizialmente di egual misura per aumentare la visibilità delle frange, contando la conseguente variazione nel numero di frange. La linearità del modello teorico

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} N$$

, dove ΔL è la variazione di lunghezza tra i bracci e N è il numero di volte che una banda di interferenza chiara torna tale durante lo spostamento effettuato, ha permesso di ricavare tramite regressione lineare ai dati sperimentali un valore per la lunghezza d'onda del laser $\lambda = 572 \pm 7 \text{ nm}$, compatibile entro 2σ con quello che caratterizza la luce verde, $\lambda_{\text{verde}} = [520 - 565] \text{ nm}$.

Successivamente nel braccio di cui viene variata la lunghezza è stata posta la lastra di plexiglas da analizzare. Questa, a causa di un indice di rifrazione diverso da quello dell'aria, devia la luce dal suo percorso iniziale a seconda dell'angolo con cui incide sulla lastra stessa; infatti contando le variazioni delle bande di interferenza al variare dell'angolo di incidenza si è riusciti a stimare un

indice di rifrazione di $n = 1.53 \pm 0.02$. L'analisi dati è stata effettuata attraverso un fit delle misure sperimentali sulla relazione

$$N = \frac{2t(1 - \cos \alpha)(n - 1)}{n\lambda - \lambda(1 - \cos \alpha)}$$

dove t è lo spessore della lastra analizzata e α la variazione nell'angolo di incidenza. Il risultato si mostra compatibile con il valore tabulato, $n_{\text{tab}} = 1.50$, entro 2σ .

2 Introduzione

Il Michelson è uno strumento ottico che utilizza le proprietà di interferenza delle onde elettromagnetiche per effettuare misure di grandezze fisiche. Un fascio di luce emesso da una sorgente¹ incide su un beam splitter, ovvero uno strumento di parametri ottici $r = \frac{1}{\sqrt{2}}$ e $t = \frac{1}{\sqrt{2}}$ che devia il fascio in due percorsi perpendicolari tra loro, detti bracci. Questi ultimi terminano con due specchi completamente riflettenti che rimandano i fasci nuovamente al beam splitter dove si sovrappongono (Figura 1).

Questa sovrapposizione produce un fenomeno di interferenza che genera sullo schermo un alternarsi di bande di luce e d'ombra, la cui intensità e forma dipendono sia dalla differenza di lunghezza dei due bracci, ΔL , che dal tipo di fronte d'onda emesso dalla sorgente: quando almeno uno dei due è sferico, le frange prodotte sono circolari, altrimenti piane. Dall'espressione che

¹In questa esperienza si è utilizzato un laser di luce verde.

descrive l'intensità del fascio incidente sullo schermo è possibile definire i punti di massimo e di minimo, corrispondenti rispettivamente a frange chiare e scure:

$$I = E_{out}E_{out}^* \cos^2(k\Delta L), \text{ con } k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\begin{cases} Max : & \Delta L = \frac{N\lambda}{2}, N \in \mathbb{N} \\ Min : & \Delta L = \frac{(2N+1)\lambda}{2} \end{cases}$$

Si fa notare che sfruttando la proporzionalità tra ΔL e N è possibile stimare il valore di λ .

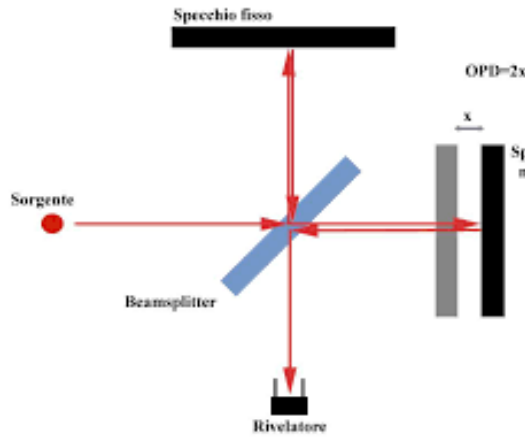


Figura 1: Schema di un interferometro Michelson si può disegnare la lastra.

Ponendo una lastra di plexiglas nel braccio dove viaggia il fascio trasmesso, la luce subisce una deviazione a causa del fenomeno di rifrazione tra aria e la-

² ω_0 e z_0 sono stime derivanti dall'esperienza sul fascio gaussiano.

mina (Figura 2) aumentando il cammino ottico.

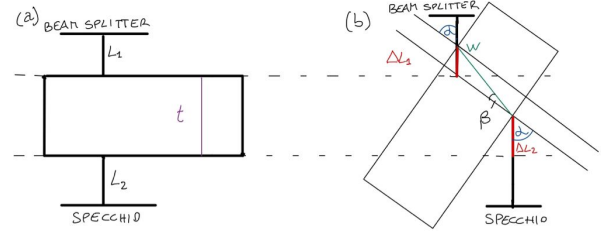


Figura 2: Schema della deformazione del cammino ottico in funzione dell'angolo con cui il fascio incide sulla lamina.

La differenza tra i cammini ottici dei due bracci segue la relazione:

$$\Delta L = \Delta L_2 - \Delta L_1 + n(\omega - t) = \frac{N\lambda}{2}$$

dove nt e $n\omega$ sono i cammini ottici all'interno della lamina rispettivamente per l'immagine (a) e (b) di Figura 2. Un cambiamento nell'angolo con cui il fascio incide sulla lamina produce una variazione delle frange di interferenza secondo la legge:

$$N = \frac{2t(1 - \cos \alpha)(n - 1)}{n\lambda - \lambda(1 - \cos \alpha)} \quad (1)$$

dove t è lo spessore della lamina.

3 Setup

Il setup consiste in un interferometro secondo il modello di Michelson, composto da un laser² di lunghezza d'onda di 532 nm , $\omega_0 = 6.016 \pm 0.001 \text{ m}$ e

$z_0 = -6.833 \pm 0.006 \text{ m}$, un beam splitter, due specchi, di cui uno mobile trasversalmente nella direzione del fascio per far variare le figure di interferenza e l'altro fissato nella posizione desiderata; infine uno schermo per visualizzare le forme di interferenza ottenute dalla sovrapposizione dei due raggi.

Per un funzionamento ottimale del Michelson è necessario che i fasci incidano perpendicolarmente sugli specchi. Questo risultato è stato ottenuto fissando altezza e inclinazione del laser in modo che il fascio di luce riflesso dallo specchio mobile, in assenza di beam splitter, tornasse nel foro di uscita. Si è quindi passati all'allineamento delle restanti componenti.

Per misurare N al variare di ΔL si è scelto di contare quante frange uscissero dalla figura di interferenza sullo schermo per un determinato spostamento dello specchio. Per ingrandire l'immagine che si andava a formare sullo schermo si è posta una lente convergente sul percorso del fascio tra il beam splitter e lo schermo. Successivamente spostandola tra la sorgente di luce e il beam splitter si è modificato il fronte d'onda del laser da piano a sferico arrivando a visualizzare sullo schermo delle frange di interferenza circolari.

Per la seconda parte dell'esperienza è stata inserita sul percorso della luce una lastra di plexiglas posta su una base rotante, tra il beam splitter e lo specchio mobile, in modo da poter osservare, al

variare dell'angolo di incidenza del laser sulla piastra, le differenti frange di interferenza misurate con la medesima procedura sopra descritta.

4 Risultati e discussione

Per ottenere una stima della lunghezza d'onda della luce laser si è sfruttato l'andamento lineare del modello teorico, effettuando una regressione lineare ai dati sperimentali (Figura 3):

$$\Delta L = \frac{\lambda}{2} N \rightarrow y = mx + q$$

Si è ricavato così $m = \lambda = 572 \pm 7 \text{ nm}$, valore che risulta compatibile entro 2σ con l'intervallo di frequenze previsto per un fascio laser di luce verde ($\lambda_v = [520 - 565] \text{ nm}$).

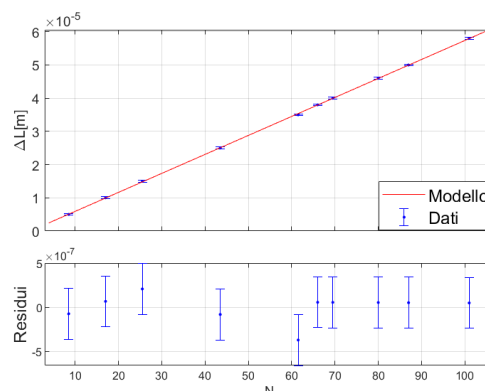


Figura 3: Grafico del modello teorico con sovrapposti i dati sperimentali, nella configurazione standard.

La stima ricavata non è però compatibile col valore nominale pari a 532 nm .

Si è supposto che tale discrepanza potrebbe essere dovuta all'usura dello strumento e/o alla difficoltà nel contare il numero di frange: la variazione nelle frange era infatti molto sensibile allo spostamento dello specchio, quindi anche solo toccando la vite micrometrica per spostare lo specchio si otteneva una fluttuazione nella figura di interferenza.

Nel calcolo delle incertezze su ΔL si è tenuto conto dell'errore di risoluzione dello strumento, $\sigma_{\Delta L} = 0.3 \mu m$ mentre per N di un errore di distrazione nel conteggio delle frange, $\sigma_N = 1$.

Per la stima dell'indice di rifrazione della lastra di plexiglas si sono visualizzati su un grafico (Figura 4) i dati sperimentali.

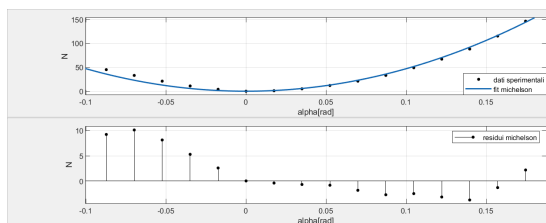


Figura 4: Grafico del modello teorico con sovrapposti i dati sperimentali nella configurazione che include la lamina di plexiglas.

Quindi, attraverso cftool di matlab, si è effettuato un fit sulla base del modello teorico:

$$N = \frac{2t(1 - \cos \alpha)(n - 1)}{n\lambda - \lambda(1 - \cos \alpha)} \quad (2)$$

con $t = 7.50 \pm 0.01 \text{ mm}$, misurata attraverso un calibro. Il valore ottenuto per n è pari a 1.53 ± 0.02 , compatibile entro 2σ con quello tabulato: $n_{tab} = 1.50$. Per le incertezze sugli angoli si è tenuto conto dell'errore di risoluzione dello strumento, $\sigma_\alpha = 0.006^\circ$.

5 Conclusioni

Il risultato ottenuto per la lunghezza d'onda del laser risulta entro 2σ all'interno dell'intervallo della luce verde, ma non è compatibile col valore nominale del laser, probabilmente per alcune imprecisioni nella presa dati o per l'usura dello stesso. La stima per l'indice di rifrazione del plexiglas è in linea con le specifiche teoriche. Si è quindi dimostrata la validità dell'interferometro Michelson nella capacità di misura di grandezze fisiche differenti.