

# Interferometro di Michelson

Laboratorio di Ottica, Elettronica e Fisica Moderna  
C.d.L. in Fisica, a.a. 2023-2024  
Università degli Studi di Milano

Lucrezia Bioni, Leonardo Cerasi, Giulia Federica Bianca Coppi  
Matricole: 13655A, 11410A, 11823A

9 novembre 2023

## 1 Introduzione

### 1.1 Scopo

In questa esperienza ci si propone di misurare - mediante l'utilizzo dell'interferometro di Michelson - le seguenti quattro quantità: la lunghezza d'onda di un fascio di luce monocromatica, l'indice di rifrazione dell'aria a pressione atmosferica, la lunghezza dei pacchetti d'onda di una sorgente non monocromatica e la separazione tra le due lunghezze d'onda del doppietto del sodio.

### 1.2 Metodo

Per la misurazione delle quattro grandezze interessate, si utilizza l'apparato sviluppato da Michelson riportato in figura *riferimento*. L'interferometro è costituito da quattro lastre di vetro ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $L_c$ ):  $S_1$  è una lastra semiriflettente - rivolta verso  $S_2$  - a facce piane e parallele,  $S_2$  e  $S_3$  sono completamente riflettenti sulla faccia rivolta verso  $S_1$ ,  $L_c$  è una lastra trasparente il cui scopo è quello di rendere uguali i cammini ottici compiuti dai raggi lungo i due bracci dello strumento.

Essendosi assicurati che  $S_2$  e  $S_3$  siano perpendicolari e che formino un angolo di  $45^\circ$  con  $S_1$ , il raggio luminoso inciderà su  $S_1$  sdoppiandosi: il primo verrà riflesso da  $S_2$  e dalla faccia riflettente di  $S_1$ , per poi proseguire verso lo schermo, il secondo - riflesso da  $S_1$  - verrà riflesso da  $S_3$  ed inciderà sullo schermo dove formerà delle figure di interferenza con il primo raggio - dovuta alla coerenza dei due fasci luminosi - .

#### 1.2.1 Lunghezza d'onda di un fascio di luce monocromatica

Si vuole misurare la lunghezza d'onda di un fascio di luce laser: agendo sulla variazione di cammino ottico dei due fasci - spostando lo specchio  $S_3$  - si conta il numero di frange chiare (o scure) passanti per un punto prefissato dello schermo. La misura della lunghezza d'onda è pertanto data dalla formula

$$\lambda = \frac{2n_a \Delta x}{N_1} \quad (1.2.1)$$

dove  $\lambda$  è la lunghezza d'onda incognita,  $n_a$  è l'indice di rifrazione dell'aria,  $\Delta x$  è lo spostamento dello specchio  $S_3$  e  $N_1$  è il numero di frange chiare (o scure) contate.

#### 1.2.2 Indice di rifrazione dell'aria

Tra gli specchi  $S_1$  e  $S_2$  viene inserita una cameretta contenente una pompa per la creazione del vuoto. Il cammino ottico percorso dal fascio luminoso nel vuoto cambia - poiché questo è legato all'indice di rifrazione del mezzo che attraversa come mostrato dall'equazione 1.2.1 - e quindi, facendo rientrare lentamente l'aria nella cameretta e contando le frange di interferenza passanti per un dato punto sullo schermo, si riuscirà a fornire una stima del valore dell'indice di rifrazione dell'aria  $n_a$  secondo la seguente equazione:

$$2(n_a - 1) = N_2 \lambda \quad (1.2.2)$$

dove  $n_a$  è l'indice di rifrazione dell'aria,  $N_2$  è il numero di frange contate su un punto dello schermo e  $\lambda$  è la lunghezza d'onda del fascio emesso dalla sorgente monocromatica.

### 1.2.3 Lunghezza dei pacchetti d'onda di una sorgente non monocromatica

Il fascio di luce prodotto da una sorgente non monocromatica è costituita da impulsi di lunghezza limitata. L'interferenza dei fasci luminosi riflessi dagli specchi  $S_2$  e  $S_3$  si manifesta quando la distanza tra le due sorgenti immagine è inferiore alla lunghezza del pacchetto: quando viene superata tale lunghezza, si osserva sullo schermo una figura uniformemente illuminata e quindi si misura la distanza tra due zone di uniforme illuminazione - mediante la misura dello spostamento di  $S_3$  - per quantificare tale grandezza.

### 1.2.4 Separazione tra le due righe spettrali del doppietto del sodio

Si utilizza ora una sorgente luminosa al sodio per misurare le due lunghezze d'onda che emette e la loro conseguente separazione: quando le frange di interferenza delle due lunghezze d'onda si vanno a sovrapporre, sullo schermo si vede una figura di interferenza con frange molto nette - in particolare quando la differenza di cammino ottico tra i fasci provenienti da  $S_2$  ed  $S_3$  è nulla -. Si misura quindi lo spostamento dello specchio  $S_3$  e si ricava:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{m\lambda^2}{2\Delta x} \quad (1.2.3)$$

dove  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  sono le due lunghezze d'onda del doppietto del sodio,  $m$  è il numero di alternanze tra le condizioni di interferenza netta,  $\lambda$  è la media delle due lunghezze d'onda e  $\Delta x$  è lo spostamento dello specchio  $S_3$ .

## 2 Misure

### 2.1 Lunghezza d'onda di un fascio di luce monocromatica

La misura della lunghezza d'onda del fascio laser viene effettuata prendendo 5 misure dello spostamento dello specchio mobile e contando le frange passanti per un punto fissato dello schermo, le misure sono riportate nella seguente Tabella.

$N_1$	$x_1$ [mm]	$x_2$ [mm]
195	10.00	10.30
194	10.00	10.30
150	10.00	10.23
150	10.00	10.23
180	10.00	10.28

Tab. 1: Misure di  $N_1$ ,  $x_1$  e  $x_2$  effettuate per valutare la lunghezza d'onda della sorgente laser

Al conteggio  $N_1$  viene fornito un errore di  $\pm 5$ , a seguito di una valutazione dell'errore commesso dagli sperimentatori, mentre alle misure di  $x_1$  e  $x_2$  viene fornita l'incertezza strumentale pari a 0.01 mm.

### 2.2 Indice di rifrazione dell'aria

La camera usata per creare il vuoto ha lunghezza  $D = 0.05$  m - valore considerato senza incertezza. Fissato un punto dello schermo, durante la reimmissione dell'aria nella camera, si conta il numero di frange d'interferenza che vi passano: in 5 misurazioni di fila, si è sempre ottenuto il valore  $N_2 = 42 \pm 5$ .

## 2.3 Lunghezza dei pacchetti d'onda di una sorgente non monocromatica

Vengono fatte 6 misure dello spostamento dello specchio per valutare la lunghezza del treno di impulsi come descritto nel paragrafo 1.2.3. I risultati sono riportati in tabella.

$x_1$ [mm]	$x_2$ [mm]
15.58	15.54
15.58	15.54
15.57	15.54
15.57	15.54
15.57	15.54
15.57	15.54

Tab. 2: Misure della posizione iniziale e finale dello specchio  $S_3$

A queste misure viene sempre fornita l'incertezza strumentale pari a  $0.01mm$ .

## 2.4 Separazione tra le due lunghezze d'onda del doppietto del sodio

Per valutare la distanza delle due lunghezze d'onda emesse dal sodio vengono prese 8 misure dello spostamento dello specchio  $S_3$ , fornendo anche il valore  $m$  di numero di alternanze di interferenze nette viste sullo schermo durante lo spostamento dello specchio mobile. Le misure vengono riportate in tabella.

$m$	$x_1$ [mm]	$x_2$ [mm]
1	16.24	17.73
1	17.73	19.11
1	19.11	20.66
1	20.66	22.07
1	22.07	23.58
1	23.58	24.98
1	17.72	19.15
2	19.15	22.17

Tab. 3: Misure di  $m$ ,  $x_1$  e  $x_2$  effettuate per valutare  $\Delta\lambda$  del doppietto di  $Na$

Alle misure di  $m$  non viene fornita alcuna incertezza, a quelle di  $x_1$  e  $x_2$  viene fornita l'incertezza strumentale di  $0.01mm$ .

## 3 Analisi Dati

### 3.1 Lunghezza d'onda di un fascio di luce monocromatica

A partire dai dati in Tab. 1, tramite la relazione 1.2.1, possiamo ricavare i valori di  $\lambda$ :

$\lambda \pm \sigma_\lambda$ [nm]
$615 \pm 33$
$617 \pm 33$
$613 \pm 43$
$613 \pm 43$
$622 \pm 36$

Tab. 4: Valori della lunghezza d'onda ricavati dal set di misure.

Dove l'incertezza è stata attribuita mediante propagazione degli errori sulle grandezze  $\Delta x$  e  $N_1$  nella 1.2.1:

$$\sigma_\lambda = \sqrt{\left(\frac{2n}{N_1}\right)^2 \sigma_{\Delta x}^2 + \left(\frac{2n\Delta x}{N_1}\right)^2 \sigma_{\Delta x}^2} \quad (3.1.4)$$

Attraverso la media ponderata dei valori di  $\lambda$  ottenuti, si ottiene una stima della misura della lunghezza d'onda della luce laser:

$$\lambda = 617 \pm 16 \text{ nm} \quad (3.1.5)$$

dove l'incertezza è quella di una media ponderata.

### 3.2 Indice di rifrazione dell'aria

A partire dalle equazioni 1.2.1 e 1.2.2, si possono ricavare le seguenti espressioni per  $n$  e  $\lambda$ :

$$n = \frac{N_1 D}{N_1 D - N_2 \Delta x} \quad \lambda = \frac{2 \Delta x D}{N_1 D - N_2 \Delta x} \quad (3.2.6)$$

A questo punto, incrociando i dati in Tab. 1 con quelli riportati nel Par. 2.2, si ottengono i valori riportati in Tab. *referimento – alla – tabella*. Il valore finale e la rispettiva incertezza di  $n$  e  $\lambda$  sono stati determinati tramite media ponderata:

$$n = 1.000259 \pm 0.000007 \quad \lambda = 616 \pm 7 \text{ nm} \quad (3.2.7)$$

Si può osservare che il valore della lunghezza d'onda del laser così ottenuto è in perfetto accordo con il valore in 3.1.5.

### 3.3 Lunghezza dei pacchetti d'onda di una sorgente non monocromatica