

# Appunti Ottica

Tommaso Miliani

21-11-25

## Esperienza Interferometro di Machelson

### 1 Apparato sperimentale

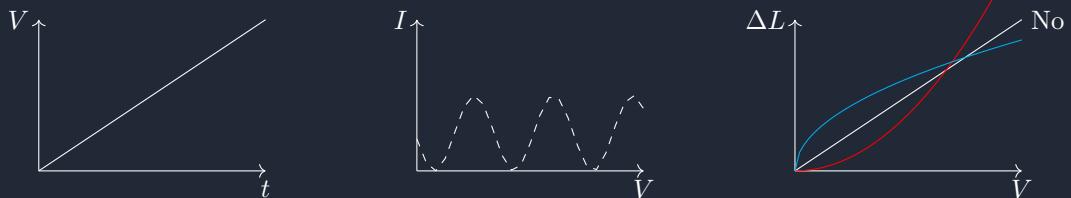
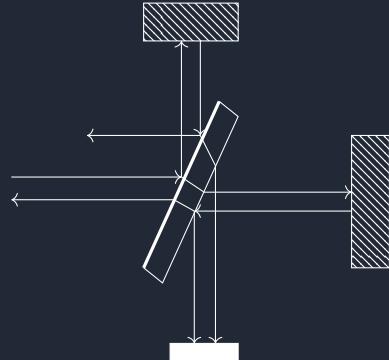
L'interferometro di Machelson è un beam splitter e non un polarizer: dunque non polarizza la luce ma semplicemente divide il fascio luminoso in base al campo incidente. Il laser che si utilizza è un laser che spara una luce a lunghezza d'onda ignota. Dunque il primo scopo dell'esperienza è proprio quello di misurare la lunghezza d'onda incognita che viene sparata dal laser elio-neon. Si può esprimere l'intensità totale del campo elettrico in funzione della distanza dei due rilevatori come

$$I = I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi(L_1 - L_2)}{\frac{\lambda}{2}} \right)$$

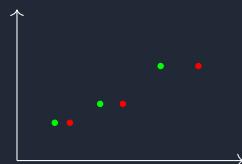
La lunghezza d'onda incognita è quella del laser verde utilizzato per l'esperienza della polarizzazione. Il segnale del fotodiodo sui rilevatori è misurato tramite un oscilloscopio digitale che misura una tensione analogica in Volt a 12 bit.

Montando uno dei due specchi su di una ceramica piezoelettrica: ossia una ceramica al quale applico una tensione variabile, lo spessore della ceramica cambia: si dilata dunque in base alla tensione che gli è applicata. Questo fenomeno permette di cambiare dunque la lunghezza di uno dei due cammini ottici attraverso della tensione. Si deve dunque misurare, in funzione della tensione, l'intensità del fascio di luce e tracciare un fit sinusoidale attraverso i dati raccolti dall'oscilloscopio digitale. Si genera dunque una rampa lineare della tensione applicata alla ceramica piezoelettrica che dovrebbe, in linea teorica, determinare un allungamento  $\Delta L$  lineare, anche se in realtà è un andamento monotono che non si conosce (ma sicuramente non lineare).

Figura 1: L'interferometro di Machelson



Sul grafico si deve avere sia la tensione in uscita dal rilevatore di luce, che la tensione alla ceramica piezoelettrica: dunque sullo schermo del computer si hanno entrambe le tensioni. Il grafico è tratteggiato in quanto la sinusoide è calcolata ottenendo dati ogni pochi millisecondi. I dati sono caricati sul programma scritto in Mathematica in modo tale che si analizzino i punti per trovare i massimi locali per determinare la curva  $V - \Delta L$ .



Si toglie ora il laser elio-neon e si sostituisce con il laser verde dell'esperienza della polarizzazione in modo tale che si possa ottenere un grafico in funzione della tensione l'intensità e si ottiene un grafico simile a quello ricavato con la lampada elio-neon. I grafici dell'intensità sono leggermente sfasati tra di loro. L'intensità del seno quadro del laser rosso ha un massimo per

$$I_R(\Delta L(v)) = I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi \Delta L(v)}{\frac{\lambda_R}{2}} \right) \implies \max \frac{\pi \Delta L(v)}{\frac{\lambda_R}{2}} = \frac{\pi}{2} + m_R \pi$$

Mentre per il laser verde ha un max per

$$I_R(\Delta L(v)) = I_0 \sin^2 \left( \frac{\pi \Delta L(v)}{\frac{\lambda_V}{2}} \right) \implies \max \frac{\pi \Delta L(v)}{\frac{\lambda_V}{2}} = \frac{\pi}{2} + m_V \pi$$

Si possono dunque ottenere le curve dei massimi delle due sorgenti rosse e verde.

$$\begin{cases} m_R = \frac{\Delta L(v)}{\frac{\lambda_R}{2}} - \frac{1}{2} \\ m_V = \frac{\Delta L(v)}{\frac{\lambda_V}{2}} - \frac{1}{2} \end{cases}$$

Si deve immaginare ogni volta che ci sia un certo valore di tensione della ceramica piezoelettrica in modo tale che si possa far coincidere la curva di tensione rossa con quella verde. Matematicamente è possibile farlo attraverso  $m_R \frac{\lambda_R}{\lambda_V}$  per cui la curva rossa viene moltiplicata per il rapporto tra le lunghezze d'onda ottenendo

$$\frac{\Delta L(v)}{\frac{\lambda_V}{2}} - \frac{1}{2} \frac{\lambda_R}{\lambda_V}$$

Per far coincidere le curve devo aggiungere un certo offset opportuno, ossia  $\frac{1}{2} \frac{\lambda_R}{\lambda_V} - \frac{1}{2}$ :

$$\frac{\Delta L(v)}{\frac{\lambda_V}{2}} - \frac{1}{2}$$

Si misura il coefficiente  $F$ , ossia il rapporto tra le lunghezze d'onda: si misura dunque questo coefficiente per qualche volta in modo da ricavare anche lo scarto massimo su questo: il  $\lambda_R$  è dato dalle caratteristiche della lampada a elio neon.

$$\langle \lambda_V \rangle = \frac{\langle \lambda_R \rangle}{\langle F \rangle} \implies \frac{\Delta \lambda_V}{\lambda_V} = \frac{\Delta \lambda_R}{\lambda_R} + \frac{\Delta F}{F}$$

In generale lo spettro è centrato intorno ad una certa lunghezza d'onda con un certo intervallo: si stabilisce dunque tramite l'interferometro di Machelson questa ampiezza: per farlo si deve ricordare la teoria. In presenza di una intensità luminosa che è distribuita secondo una gaussiana con parametro di larghezza  $\sigma = \Delta\omega$ : se questa è spedita attraverso Machelson, si vede che l'intensità in funzione del  $\Delta L$  modificherà la Gaussiana totalmente:

$$I(\Delta L) = \frac{I_0}{2} \left( 1 - \exp \left( - \left( \frac{\Delta L - \Delta\omega}{c} \right)^2 \right) \cos \left( \frac{2\Delta L \omega_0}{c} \right) \right) \quad (1)$$

Il grafico che si vede facendo questo esperimento è il seguente:

