

ESP. 8 COERENZA TEMPORALE (Interferometro di Michelson)

Gruppo 10: Mario Chizzini, Luca Sanfelici, Andrea Silvestri.

SCOPO: mediante la determinazione del rapporto tra la lettura sulla manopola e il reale spostamento dello specchio, ricavare la lunghezza d'onda del laser verde e della lampada a sodio.

Strumenti e materiali:

- laser rosso ($\lambda = 633 \pm 1 \text{ nm}$)
- laser verde e lampada al sodio (lunghezza d'onda ignota)
- interferometro
- lenti convergenti e divergenti
- diaframma regolabile
- guida pasco con supporti

L'interferometro è un sistema che basandosi sui fenomeni dell'ottica ondulatoria, permette di giungere a misure di alta precisione. Si basa sull'interferenza di due raggi e permette misure di distanze dell'ordine di grandezza della lunghezza d'onda dei fasci luminosi. Da una sorgente, nel nostro caso un laser, viene mandato un raggio che incide su una lastra semi-riflettente: parte della luce viene trasmessa e poi riflessa da uno specchio fisso, per tornare di nuovo alla lastra semiriflettente (attraversando due volte una lastra di compensazione) da cui viene ora in parte riflessa, per poi arrivare su uno schermo di osservazione. L'altra parte della luce viene invece riflessa dalla lastra semiriflettente, è successivamente riflessa da uno specchio mobile e tornando sulla lastra, viene in parte trasmessa da questa, per arrivare allo schermo di osservazione. I due raggi, originati dallo stesso raggio primario, sono coerenti, quindi sovrapponendosi sullo schermo di osservazione danno luogo ad interferenza. In base alla posizione degli specchi i due raggi fanno un percorso ottico differente, per cui al variare della posizione dello specchio mobile si può passare dalla condizione di interferenza costruttiva a distruttiva, etc.

Per la visualizzazione del fenomeno è necessario un accurato allineamento del sistema: per prima cosa, bisogna assicurarsi che il piano di lavoro e l'interferometro siano perfettamente allineati, poi si possono regolare la posizione del laser e degli specchi. Sfruttando uno specchietto e degli appositi sostegni, si posiziona il laser in modo che incida sullo specchio semi-riflettente, che è fisso, a 45° sull'asse orizzontale e perpendicolarmente su quello verticale.

Sullo schermo di osservazione si nota la presenza di diversi punti luminosi: dopo aver individuato ed oscurato quelli provenienti da riflessioni non desiderate, si portano in sovrapposizione agendo sull'orientazione dello specchio fisso, che è inclinabile orizzontalmente e verticalmente. Appena i punti sullo schermo coincidono, si potranno notare delle frange di interferenza, che corrispondono a regioni dello schermo dove raggi che hanno una piccola divergenza angolare rispetto al fascio principale vanno ad interferire. Modificando appena l'orientamento dello specchio, è possibile variarne dimensione e forma. Muovendo, invece, lo specchio mobile - che si muove solo

longitudinalmente rispetto alla direzione propagazione fascio laser - si notano l'alternanza delle frange chiare e scure.

Solo ora, dopo questo processo di allineamento, il sistema funziona correttamente e permette di compiere misurazioni.

Fattore di proporzionalità:

Una vite micrometrica tarata, usata come manopola, permette di muovere lo specchio principale in modo accurato rendendo possibili spostamenti minimi (dell'ordine della lunghezza d'onda della luce): la trasmissione del movimento allo specchio è effettuato attraverso una leva. Si deve determinare il fattore di riduzione che la leva introduce fra spostamento dello specchio e avanzamento calibrato della vite. Lo spostamento della vite può essere letto sulla scala graduata della stessa, mentre lo spostamento dello specchio mobile può essere determinato dal conteggio del numero di frange di interferenza. Infatti lo spostamento dello specchio influenza la differenza di cammino ottico dei due raggi che interferiscono sullo schermo di osservazione. Quindi se si contano quante frange di interferenza si alternano in un punto muovendo lo specchio, si può trovare questo rapporto. Chiaramente bisogna utilizzare un fascio di luce di lunghezza d'onda nota.

$$k = \frac{n \lambda}{2l}$$

dove l è lo spostamento del calibro e k la costante di proporzionalità. Facendo diverse prove con il laser rosso di lunghezza d'onda $\lambda_{\text{rosso}} = 633 \pm 1 \text{ nm}$:

Spostamento manopola (err. $\pm 0.5 \text{ mm}/100$)	N. di frange (err. ± 2)	Spostamento manopola (err. $\pm 0.5 \text{ mm}/100$)	N. di frange (err. ± 2)	Spostamento manopola (err. $\pm 0.5 \text{ mm}/100$)	N. di frange (err. ± 2)
4,5	30	9	58	6,5	41
4,5	29	5	32	4,5	30
5	31	6	40	7	46
4,5	30	5	34	7	46
5,5	34	5	35	2	14
6	40	4	26	3	21

si trova:

$$k_{\text{med.}} = 0,21 \pm 0,02$$

Per ogni movimento della manopola lo specchio si sposta di circa un quinto.

Ora conoscendo questo fattore di proporzionalità si può utilizzare la stessa legge per ricavare la lunghezza d'onda di fasci di luce incogniti.

Laser verde:

S'inserisca nel sistema al posto del laser rosso utilizzato in precedenza un altro laser di cui non conosciamo la lunghezza d'onda.

Spostamento manopola (err. ± 0.5 mm/100)	N. di frange (err. ± 2)	Spostamento manopola (err. ± 0.5 mm/100)	N. di frange (err. ± 2)
5	39	2	16
10	78	5	39
4,5	36	4	30

Invertendo la legge utilizzata in precedenza e utilizzando il k calcolato ricaviamo che:

$\lambda_{med.} = 535 \pm 85 \text{ nm}$ che appartiene allo spettro della luce verde,

$\lambda_{luce\ verde} = 491 - 560 \text{ nm}$.

Lampada al sodio a bassa pressione:

La luce al sodio non proviene da una sorgente puntiforme quindi abbiamo dovuto canalizzare la sua luce. Si ponga un diaframma molto vicino alla lente in modo che lasci passare solo un fascio e poi si metta una lente convergente prima che incida sullo specchio semiriflettente. Trovato il fuoco della lente, è possibile visualizzare le frange. Dato che la prova è stata ripetuta in un'altra giornata rispetto alle altre, per ricalibrare (allineare) il sistema si è trovato molto utile utilizzare il fascio laser che è più preciso (per la definizione dell'asse ottico del sistema).

Spostamento manopola (err. ± 0.5 mm/100)	N. di frange (err. ± 2)	Spostamento manopola (err. ± 0.5 mm/100)	N. di frange (err. ± 2)
8	52	6	43
5	35	5	36

Ricaviamo la lunghezza d'onda come per il laser verde:

$$\lambda_{med.} = 607 \pm 60 \text{ nm}$$

La luce emessa è caratterizzata principalmente da due spettri luminosi di lunghezza d'onda che si fanno essere:

$$\lambda_1 = 589 \pm 0,1 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = 589,6 \pm 0,1 \text{ nm}$$

Queste coppie di raggi, originati dallo stesso fascio primario, sono coerenti, e poiché le loro frequenze differiscono di poco, la loro sovrapposizione produce dei battimenti osservabili. Continuando a movimentare lo specchio sempre nello stesso verso non si osserva solo un'alternanza buio-luce in un dato punto dello schermo, ma anche una modulazione dell'intensità di queste "frange", che si attenua fino a scomparire (minimo del battimento: nodo) per poi risalire fino ad un massimo (ventre) e così di seguito.

In particolare, si è trovato che c'è un minimo di intensità ogni $1,45 \pm 0,05 \text{ mm}$. Utilizzando questo dato si è ricavata la lunghezza d'onda del battimento per poi stimare la differenza i numeri d'onda delle due frequenze principali.

$$k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = (10667,5 \pm 1,8) 10^{-6} [nm]$$

$$k_2 = \frac{2\pi}{\lambda_2} = (10656,7 \pm 1,8) 10^{-6} [nm]$$

$$\frac{k_1 - k_2}{2} = (5,4 \pm 1,2) 10^{-6} [nm]$$

$$\frac{\Delta k_{spe.}}{2} = \frac{\pi}{2 d k} = (5,2 \pm 1) 10^{-6} [nm]$$

dove d e k sono rispettivamente lo spostamento della manopola e il fattore di proporzionalità ricavato in precedenza. Il valore trovato è paragonabile a quello teorico.

Osservazioni:

I raggi nella riflessione vengono sfasati di mezza lunghezza d'onda, ma dato che entrambi ne subiscono due prima di arrivare sullo schermo, continuano a essere in fase. Nel conteggio delle frange si è cercato di contarne sempre tra le 30-50, in modo da ridurre l'errore sia sulla lunghezza che sul numero stesso di frange.

Considerazioni:

L'esperienza è stata svolta completamente e abbiamo sempre trovato valori in linea con le aspettative. Gli errori dei risultati spesso sono grandi, superiori al 10%. Nel conteggio delle frange la vite micrometrica non assicurava una precisione sufficiente: contando 40 frange lo spostamento era di circa 6 centesimi di millimetro, sui quali si aveva al massimo la precisione di mezza tacca ($\pm 5 \mu m \approx 8\%$). Si è infine riconosciuto chiaramente il fenomeno dei battimenti, trovando risultati più precisi che sui valori delle lunghezze d'onda.