

Thomas Young, Malus e la luce

ESPERIMENTI CON I LASER

Elisa Bidoglio e Sofia Ferretto | 4° E | 20/10/2023 – Laboratorio di Fisica dell'LVT

Scopo primo esperimento (Young):

misurare sperimentalmente la lunghezza d'onda della luce (λ)

Scopo secondo esperimento (Malus):

verificare sperimentalmente la legge di Malus

Materiale primo esperimento:

Un banco ottico:

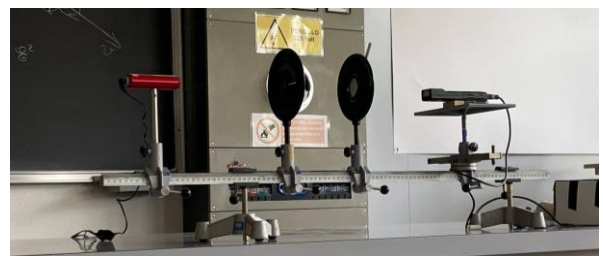
- Schermo nero
- Laser (rosso e verde)
- Reticoli (3 diversi: in questo caso 100 linee/mm, 300 linee/mm, 600 linee/mm)
- Supporto per il reticolo
- Elastico

Flessometro



Materiale secondo esperimento:

- Laser
- Fotodiodo
- 2 filtri polarizzatori
- Pc con lettore del fotodiodo

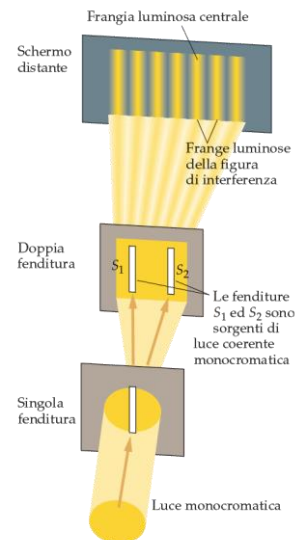


Premessa teorica:

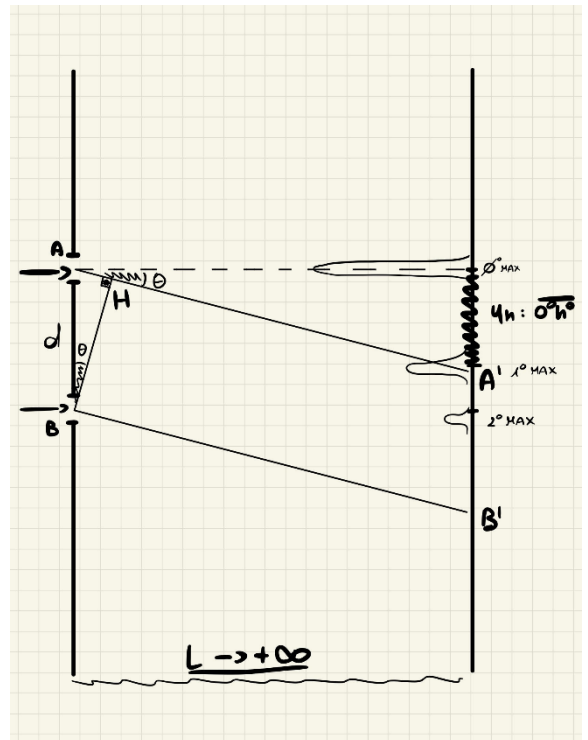
- Onda: fenomeno periodico che si propaga nello spazio e nel tempo. Tutti i punti dell'onda con uguali caratteristiche prendono il nome di fronti d'onda. I fenomeni periodici sono eventi che si ripetono con le medesime caratteristiche a intervalli regolari detti periodi (T).
- Lunghezza d'onda (λ): la distanza tra due creste di un'onda periodica. Le creste sono i punti più alti dell'onda.
- Frequenza (f): grandezza fisica che si misura in Hz (Hertz) e indica il numero di oscillazioni compiute dall'onda periodica in un suo periodo.
- Ampiezza (A): la distanza tra la cresta e l'asse di propagazione dell'onda.
- Fase iniziale (φ): traslazione dell'onda sull'asse delle x
- Principio di Huygens-Fresnel: ogni punto colpito da un'onda qualsiasi diventa sorgente di onde sferiche. Tale principio è fondamentale per spiegare il fenomeno della propagazione delle onde.
- Dualismo onda-corpuscolo. Dopo un secolare dibattito scientifico sulla natura della luce, Einstein, nel 1905, fu il primo a ipotizzare che quest'ultima è contemporaneamente onda e corpuscolo. In questo modo sia l'ipotesi di

Huygens, che credeva nella natura ondulatoria della luce, che quella di Newton, sicuro che il raggio luminoso fosse costituito da corpuscoli, risultano vere.

- Negli esperimenti descritti in questa relazione consideriamo la luce come un'onda. In particolare, essa è costituita da un campo elettrico e un campo magnetico che oscillano perpendicolarmente.
- L'interferenza è un fenomeno ondoso dovuto alla sovrapposizione, in un punto dello spazio, di due o più onde. Esse devono derivare da due sorgenti coerenti, cioè che emettono onde con la stessa ampiezza, la stessa lunghezza d'onda e la stessa fase iniziale.
- I percorsi delle onde prendono il nome di cammini ottici e nel fenomeno dell'interferenza sono due, ciascuno dei quali ha origine in una sorgente e termina nel punto d'interferenza. Per questo motivo si possono identificare due segmenti PS_1 e PS_2 , dove P è il punto di interferenza, S_1 ed S_2 sono le due sorgenti.
- Se la differenza tra i cammini ottici è uguale a un numero intero di lunghezze d'onda allora si parla di interferenza costruttiva: le ampiezze delle due onde si sommano. La formula dell'interferenza costruttiva è: $|PS_1 - PS_2| = n \lambda$
- Se invece la differenza tra i cammini ottici è uguale a un numero dispari di mezze lunghezze d'onda allora si parla d'interferenza distruttiva: le ampiezze delle due onde si annullano. La formula dell'interferenza distruttiva è $|PS_1 - PS_2| = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$
- In entrambe le formule n è un numero naturale
- Le frange d'interferenza sono bande iperboliche illuminate e scure che si osservano in alternanza in un'interferenza. Esse rappresentano i massimi e i minimi d'interferenza e sono illuminate quando l'interferenza è costruttiva, scure quando è distruttiva
- Proprio sfruttando il fenomeno dell'interferenza, lo scienziato britannico Thomas Young, nel 1801, esegue un famoso esperimento che gli consente di visualizzare su un pannello le frange d'interferenza della luce. Si basa su una singola sorgente, una candela, che illumina uno schermo opaco con due fenditure parallele (poste a distanza d) di larghezza sufficientemente piccola in confronto alla lunghezza d'onda (λ) della luce incidente. In questo modo, per il principio di Huygens, le fenditure diventano due sorgenti lineari di luce coerente che originano su uno schermo posto a distanza L una serie di massimi d'interferenza, che appaiono come strisce luminose a una determinata distanza (y_n). Essi partono da un massimo centrale, maggiormente luminoso, e si sviluppano a destra e a sinistra.
- La formula che si ricava da questo esperimento è $n\lambda = d \frac{y_n}{L}$



- Consideriamo la figura a fianco per dimostrare da dove deriva la formula precedentemente riportata.
- Essendo la distanza tra le fenditure molto minore di L, i due raggi luminosi possono essere considerati paralleli
- AH è la distanza tra i cammini ottici e, poiché AHB è un triangolo rettangolo, il cateto AH può essere anche scritto come $d \cdot \sin\theta$
- Poiché sullo schermo si possono osservare i massimi d'interferenza, stiamo parlando di interferenza costruttiva. Inoltre, dal momento che AH ($d \cdot \sin\theta$) è la distanza tra i cammini ottici, si ottiene che $d \cdot \sin\theta = n\lambda$, quindi $\sin\theta = \frac{n\lambda}{d}$
- Se si considera poi il triangolo AOA₁, anch'esso rettangolo, notiamo che $y_n = L \cdot \tan\theta$
- Poiché θ è estremamente piccolo e tende a zero, $\tan\theta \approx \sin\theta$, quindi possiamo approssimare $\sin\theta = \frac{y_n}{L}$
- In conclusione, uguagliando le due formule, si ottiene $\frac{n\lambda}{d} = \frac{y_n}{L}$, ovvero $n\lambda = d \frac{y_n}{L}$, la formula sopra riportata

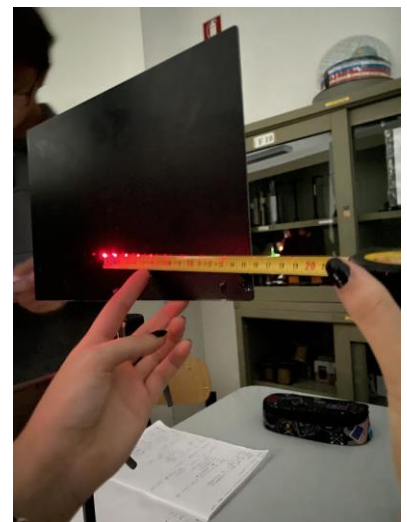


- Noi come sorgente di luce utilizziamo un laser, rosso o verde. Una buona definizione di questo strumento è: una sorgente di luce monocromatica, ovvero con un solo colore e una sola frequenza, collimata, ovvero con un diametro che varia di pochissimo in lunghe distanze, e coerente, ovvero costituita da fotoni tutti con la stessa fase iniziale, la stessa lunghezza d'onda e la stessa ampiezza. Utilizzando il laser, le frange di interferenza appaiono sul pannello come dei punti e non come delle strisce.
- La luce può essere polarizzata e si può parlare di ciò quando tutte le onde oscillano su uno stesso piano. Per ottenere un fascio di luce polarizzata è necessario un filtro polarizzatore, cioè uno strumento che fa passare luce solo in una direzione, vale a dire quella parallela all'asse ottico del polarizzatore
- L'intensità della luce mette in relazione il flusso luminoso con l'angolo del fascio di una sorgente luminosa e indica quindi la concentrazione della luce o la densità della luce emessa
- Nel secondo esperimento si utilizzano due filtri polarizzatori, di cui il primo, tarato a 90° , polarizza la luce e il secondo, tarato con un angolo φ variabile, permette di considerare la legge di Malus per cui $I = I_p \cos^2\varphi$, dove I è l'intensità della luce che esce dal secondo polarizzatore, I_p è l'intensità della luce polarizzata e φ è l'angolo che indica la differenza di inclinazione tra il primo e il secondo polarizzatore
- Nell'esperimento il valore di I trovato con la legge di Malus viene confrontato tramite la formula dello scarto percentuale con il valore di I trovato sperimentalmente

- La luce che esce dal secondo polarizzatore colpisce un sensore chiamato fotodiodo, a sua volta collegato a un lettore del fotodiodo che, collegato a un computer, ci consente di individuare il valore sperimentale di I, la cui unità di misura è il “Lux” (lx)
- Di seguito riportiamo una serie di formule necessarie per lo svolgimento dei calcoli:
- Scarto percentuale: $\varepsilon\% = \frac{\text{valoreMAX} - \text{valoreMIN}}{\text{valoreMAX}} \cdot 100$
- Valore medio: $\langle \text{valore} \rangle = \frac{\text{valore}_1 + \text{valore}_2 + \dots + \text{valore}_n}{n}$
- Errore assoluto: $\varepsilon_{\text{assoluto}} = \frac{\text{valoreMAX} - \text{valoreMIN}}{2}$

Procedimento primo esperimento:

1. Si monta il banco ottico: si fissa a un'estremità lo schermo nero, all'altra uno dei due laser(1). in un punto intermedio si fissa il supporto del reticolo e un reticolo(1), tramite l'elastico
2. Si collega il laser a una presa di corrente e si accende
3. Si misurano con il flessometro L e y
4. Si cambia la posizione del reticolo e si misurano ancora con il flessometro L e y
5. Si cambia il reticolo(1) con un altro reticolo(2) e si ripetono gli ultimi 2 punti; si cambia il reticolo(2) con l'ultimo reticolo(3) e si ripetono gli ultimi 2 punti: così si avranno due misurazioni di L e due misurazioni di y per ogni reticolo
6. Si sostituisce il laser(1) con l'altro laser(2)
7. Si ripetono i punti dal 2 al 5
8. Si fa una tabella con i dati ricavati (d, y e L) (vedi tabella sotto)
9. Si calcola il valore di λ per ogni serie di dati (d, y e L):
 $n\lambda = d \frac{y_n}{L}$, con $n = 1$
10. Si calcola il valore medio di λ per ogni laser (2 in totale) con la formula $\langle \lambda_e \rangle = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}{3}$
11. Si calcola l'errore assoluto di entrambe le λ medie con la formula $\varepsilon_{\text{ass}} = \frac{\lambda_{\text{MAX}} - \lambda_{\text{MIN}}}{2}$
12. Si cercano in rete i valori (teorici) delle lunghezze d'onda della luce rossa e della luce verde, poi si confrontano ai valori ottenuti sperimentalmente



Dati ed elaborazione primo esperimento:

LASER ROSSO							
d (m)	y (m)	L (m)	λ (m)	λ media	λ SPERIMENTALE	λ TEORICA	
0,00001	0,015	0,223	6,73E-07	6,69E-07	(669±42) nm	620 - 760 nm	
0,00001	0,03	0,458	6,55E-07	E assoluto			
0,0000033	0,089	0,453	6,48E-07	4,16E-08			
0,0000033	0,066	0,345	6,31E-07				
0,0000017	0,145	0,345	7,14E-07				
0,0000017	0,091	0,223	6,94E-07				
LASER VERDE							
d (m)	y (m)	L (m)	λ (m)	λ media	λ SPERIMENTALE	λ TEORICA	
0,00001	0,024	0,458	5,24E-07	5,33E-07	(533±28) nm	495 - 570 nm	
0,00001	0,019	0,347	5,48E-07	E assoluto			
0,0000033	0,053	0,347	5,04E-07	2,75E-08			
0,0000033	0,038	0,246	5,10E-07				
0,0000017	0,08	0,246	5,53E-07				
0,0000017	0,145	0,441	5,59E-07				

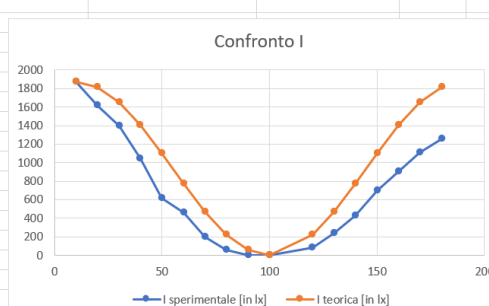
Procedimento secondo esperimento:

- Si montano consecutivamente il laser, il primo filtro (fisso con angolo di 90°) e il secondo filtro (con angolo variabile), infine si posiziona il fotodiodo
- Si collega il laser alla corrente e si attiva il fotodiodo con lettore annesso
- Si accende il laser
- Si prendono i vari valori di I al variare di φ (da cambiare manualmente girando l'asse di trasmissione del secondo polarizzatore tramite una "maniglia")
- Infine si costruisce una tabella (vedi dati ed elaborazione) con questi elementi:
 - φ : l'angolo tra l'asse di trasmissione del primo polarizzatore e il secondo
 - I sperimentale: l'intensità dell'irraggiamento rilevata dal fotodiodo
 - I teorica: l'intensità calcolata tramite la legge di Malus: $I = I_p \cos^2 \varphi$
 - scarto percentuale: $\varepsilon\% = \frac{I_{MAX} - I_{MIN}}{I_{MAX}} \cdot 100$
- si costruisce un grafico con le prime tre colonne per valutare se le misurazioni sperimentali sono state conformi alle aspettative teoriche ricavate dalla legge di Malus



Dati ed elaborazione secondo esperimento:

φ [in gradi °]	I sperimentale [in lx]	I teorica [in lx]	scarto percentuale
10	1872	1872,00	0%
20	1622	1815,55	11%
30	1393	1653,02	16%
40	1044	1404,00	26%
50	614	1098,53	44%
60	462	773,47	40%
70	200	468,00	57%
80	61	218,98	72%
90	0	56,45	100%
100	0	0,00	100%
120	86	218,98	61%
130	240	468,00	49%
140	430	773,47	44%
150	700	1098,53	36%
160	905	1404,00	36%
170	1110	1653,02	33%
180	1260	1815,55	31%



Conclusioni primo esperimento:

Confrontando i risultati ottenuti per i valori riguardanti le lunghezze d'onda dei laser rosso e verde con i valori teorici, misurati con attrezzature più accurate, possiamo affermare che l'esperimento sia riuscito egregiamente; infatti i valori da noi calcolati sono rientrati sempre nei range previsti. In conclusione, abbiamo conseguito lo scopo dell'esperimento nell'ambito degli errori sperimentali.

Conclusioni secondo esperimento:

Confrontando i due grafici ottenuti per le intensità sperimentali e teoriche, possiamo constatare che, sebbene il loro andamento sia simile, talvolta il valore sperimentale si discosta molto da quello teorico a causa di errori nella misurazione. Questi errori sono dovuti in gran parte all'elevata sensibilità del fotodiode, a cui, da parte nostra, non è stata corrisposta un'eguale sensibilità nell'attenuare la presenza di altre sorgenti luminose, che quindi sono andate a compromettere le rilevazioni. Inoltre, minimi movimenti nell'area circostante il fotodiode hanno certamente causato dei piccoli spostamenti del fotodiode stesso, provocando leggere e involontarie variazioni di misurazione. A questi si aggiungono eventuali errori casuali da noi non prevedibili.

In conclusione, possiamo affermare di aver parzialmente conseguito lo scopo dell'esperimento, nell'ambito degli errori sperimentali, dato che l'andamento delle curve è abbastanza simile, sebbene i valori discostino.