

Interferenza di luce visibile (esperimento di Young a basso costo)

1 -Argomento

Esperimenti su interferenza di luce visibile da doppia fenditura realizzata con materiali a costo nullo o basso o di riciclo.

- Cosa serve:
 - vetri da microscopio,
 - vernice spray nera o fuliggine da fiamma di candela,
 - foglio di alluminio da cucina,
 - lamette da barba per fare fenditure sottili,
 - un puntatore laser economico,
 - un righello o simili,
 - mollette da panni per fare sostegni,
 - un pezzo di cartone chiaro per fare lo schermo.

N.B. Coinvolgere gli studenti nel reperire i materiali e costruire l'apparato, è motivante e stimola interesse.

- Quando svolgere gli esperimenti:
come lavoro di laboratorio, compito a casa, attività di piccolo gruppo o individuale.

È opportuno che una succinta relazione descriva il lavoro svolto; eventuali difficoltà incontrate e loro soluzione; ciò che è piaciuto e ciò che non è piaciuto; domande personali a cui si è avuto risposta; espansioni dell'argomento che si vorrebbero affrontare; legami con altri contenuti di fisica o altre discipline che sono venuti in mente o a cui si vorrebbe fosse data attenzione.

2 -Nodi concettuali affrontabili

- Che cosa è l'interferenza.
- Condizioni perché si verifichi interferenza.
- Sorgenti coerenti di luce.
- Elementi di ottica ondulatoria alla base dell'interferenza.
- Frange chiare e scure, massimi e minimi di interferenza.
- Relazione interferenza – diffrazione.
- Applicazioni principali dell'interferenza in scienza e tecnologia

3 -Contenuti

Un po' di terminologia:

Onda: un'onda è un disturbo che si propaga nello spazio e nel tempo, normalmente con un trasferimento di energia. Matematicamente, la più semplice forma di onda è l'onda sinusoidale (o onda armonica) **u** descritta dalla relazione:

$$u(x,t)=A\cos(kx-\omega t+\varphi)$$

dove u è l'onda che si propaga lungo l'asse x all'istante t .

Ampiezza di un'onda: A è l'ampiezza dell'onda.

Fase iniziale: φ è la fase iniziale (o, a volte in modo impreciso, fase) e definisce l'intensità dell'onda u nell'origine dell'asse x al tempo $t=0$.

Fase (al tempo t o istantanea): è l'argomento del coseno cioè $kx-\omega t+\varphi$

Numero d'onda: è la costante k caratterizzante l'andamento spaziale dell'onda. È anche detta *frequenza spaziale* (fornisce la descrizione dell'onda a t costante, ovvero un'istantanea dell'onda).

Lunghezza d'onda: è la distanza spaziale tra due punti successivi dell'onda caratterizzati dallo stesso valore dell'onda (e della sua derivata). È legata al numero d'onda dalla relazione $\lambda = 2\pi/k$

Pulsazione (temporale): la costante ω . Definisce l'andamento temporale dell'onda (fissata la posizione spaziale x , definisce la sua variazione temporale).

Frequenza (temporale) f : definisce il numero di creste (o ventri) passanti per un fissato punto spaziale nell'unità di tempo. È legata alla pulsazione dalla relazione $\omega = 2\pi f$.

Velocità di propagazione (dell'onda): fissata una cresta, definisce la velocità v con cui questa di propaga. Frequenza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione sono legate dalla relazione $\lambda f = v$

Fronte d'onda: l'insieme spaziale dei punti caratterizzati dalla stessa fase istantanea. Se la nostra onda è $u(x,y,z, t)=A\cos(kx-\omega t+\varphi)$, i fronti d'onda sono dei piani perpendicolari all'asse x . Altre forme semplici di fronti d'onda sono quelli sferici (convergenti o divergenti da un punto).

4 -Realizzazione dell'apparato

Ricoprire un vetrino da microscopio con la vernice spray oppure affumicarlo uniformante con la fuliggine della fiamma di una candela. Invece del vetrino verniciato o annerito con nerofumo si può usare un foglietto di alluminio da cucina, ripiegato 4-5 volte e ben compresso in modo da avere un rettangolo di circa 4cm x 6 cm.

Tenere ben ferme due lamette da barba affiancate ed incidere la ricopertura del vetrino. Si realizzano due fenditure sottili come lo spessore del lato affilato della lametta e molto vicine (dell'ordine del decimo di mm).

Posizionare il vetrino (o il rettangolo di alluminio) verticale (due mollette fanno da supporto) ed illuminare le fenditure con la luce del puntatore laser (anch'esso sostenuto da mollette).

Posizionare uno schermo chiaro dietro al vetrino, ad una distanza di 40-50 cm.

5 -Cenni di fisica di base

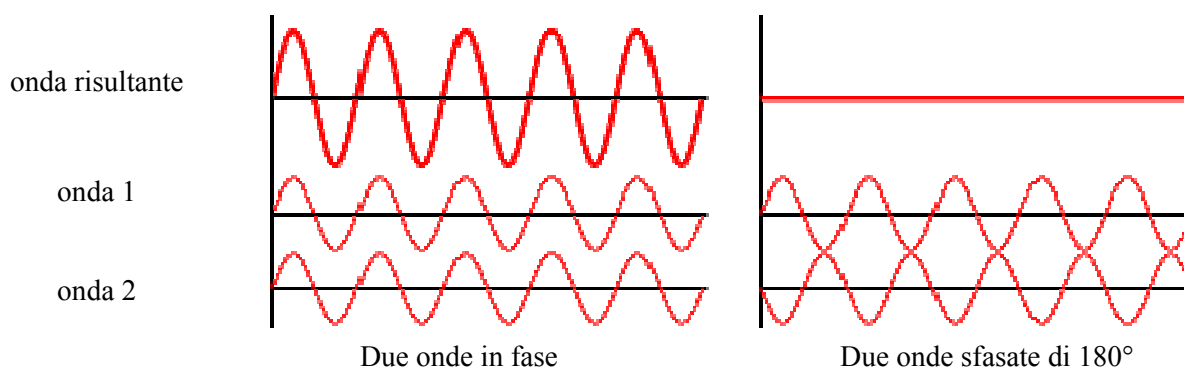
L'interferenza è un fenomeno per cui la sovrapposizione di due (o più) onde, con specifiche relazioni fra loro, determina una particolare distribuzione di intensità dell'onda risultante. Il principio di sovrapposizione (valido per ogni tipo di onda) stabilisce che l'onda risultante in ogni punto dello spazio è data dalla somma di tutte le onde che arrivano in quel punto. Quando la sovrapposizione delle onde avviene sotto condizioni particolari, si ha una distribuzione particolare di intensità dell'onda risultante: una figura d'interferenza.

Nel caso della luce visibile l'interferenza è un fenomeno ottico che produce zone di maggiore o minore luminosità (dette frange d'interferenza) che possono essere raccolte su uno schermo. È spiegabile in termini di Ottica Ondulatoria.

Coerenza di due sorgenti luminose. La condizione essenziale perché abbia luogo un fenomeno di interferenza è che le due sorgenti che emettono le onde sia coerenti, abbiano cioè una relazione tra le loro fasi che è costante nel tempo. Inoltre, per avere interferenza occorre che la frequenza delle due sorgenti sia uguale o quasi uguale.

Nel caso della luce due sorgenti sono coerenti se le onde da loro emesse hanno una differenza di fase $\Delta\Phi$ costante nel tempo; il valore di $\Delta\Phi$ può essere zero o una costante. Perché si abbia una situazione di coerenza, occorre che da una stessa sorgente se ne realizzino due, con opportuni accorgimenti. Due sorgenti indipendenti di luce, per es. due lampadine di uguale fabbricazione non possono essere coerenti. Infatti le onde luminose emesse da due sorgenti indipendenti sono emesse a tempi diversi, la loro $\Delta\Phi$ cambia nel tempo in modo non predittibile, non è costante nel tempo come richiesto dalla definizione di sorgenti coerenti.

Schema dell'interferenza Se in un punto dello spazio la cresta di un'onda interferisce con la cresta di un'altra onda, l'ampiezza dell'onda risultante aumenta; mentre essa diminuisce se una cresta di un'onda interferisce con una valle dell'altra. La figura seguente schematizza l'interferenza di due onde sinusoidali (rappresentabili cioè dalla funzione seno)¹. Se le due onde che interferiscono hanno la stessa ampiezza A e lunghezza d'onda λ (o frequenza f), l'ampiezza dell'onda risultante varierà nell'intervallo $(0 - 2A)$ a seconda della differenza di fase $\Delta\Phi$ tra le due onde.



La luce del puntatore laser

Nell'apparato sperimentale qui proposto si usa un sottile fascio di luce prodotto da un puntatore laser. Questa luce è coerente in quanto risulta da transizioni tra due livelli energetici atomici; le sue caratteristiche sono collegate con la vita media² dello stato eccitato da cui l'atomo transisce. I laser producono fasci di luce quasi monocromatica³ (l'intervallo di lunghezze d'onda è piccolo). Tutte le onde del fascio di luce laser sono in fase tra loro.

¹ Ogni funzione periodica può essere rappresentata come una serie di seni e coseni con opportuni coefficienti

² La vita media è dell'ordine dei nanosecondi.

³ Laser rossi: $\Delta\lambda$ è dell'ordine di 0,01 nm, Laser verdi: $\Delta\lambda$ è di circa 0,008 nm, Laser blu: $\Delta\lambda$ è di 0,005 nm,

Diffrazione e Interferenza: Non c'è alcuna distinzione fisica tra diffrazione ed interferenza, in generale si parla di interferenza quando si tratta della sovrapposizione di poche onde. Quando un fronte d'onda passa attraverso una sottile fenditura esso si sparpaglia: avviene un fenomeno di diffrazione. Ciò si comprende alla luce del principio di Huygens che stabilisce che ogni punto della fenditura può essere considerato come sorgente di onde secondarie. L'ammontare dello sparpagliamento dipende dalle dimensioni della fenditura in relazione alla lunghezza d'onda dell'onda incidente. Se le dimensioni della fenditura sono comparabili con la lunghezza d'onda, la diffrazione è notevole. Il fascio di luce del puntatore laser illumina le due fenditure, le cui dimensioni assicurano una notevole diffrazione. I fronti d'onda diffratti dalle due fenditure si sovrappongono e si ha interferenza. Ciascuna delle due fenditure è una sorgente di luce coerente e della stessa lunghezza d'onda, essendo derivata dalla singola sorgente del fascio laser. La luce laser diffratta dalle due fenditure interferisce costruttivamente o distruttivamente: si crea una figura d'interferenza (frange chiare e scure) che può essere raccolta su uno schermo. La figura successiva illustra il processo.

<p>Schema di un esperimento di interferenza alla Young con due fenditure. La differenza di "cammino ottico" fra due sottili fasci è data da $s \sin \theta$. La figura d'interferenza, dovuta alla sovrapposizione della luce laser diffratta dalle due fenditure, appare sullo schermo come un'alternanza di zone (frange) chiare e scure. Le frange chiare (scure) sono causate da interferenza costruttiva (distruttiva).</p>	
<p>L'esperimento in una versione realizzata nel 2010 presso l'Università di Gulu (Nord Uganda) in un programma di Formazione Insegnanti in servizio nelle scuole secondarie superiori.</p>	

Le **frange massimamente luminose** accadono nei punti in cui c'è interferenza completamente costruttiva; la differenza di cammino ottico è $n\lambda$ (dove $n = 0, 1, 2, \dots$). Le **frange massimamente scure** accadono nei punti in cui c'è interferenza completamente distruttiva; la differenza di

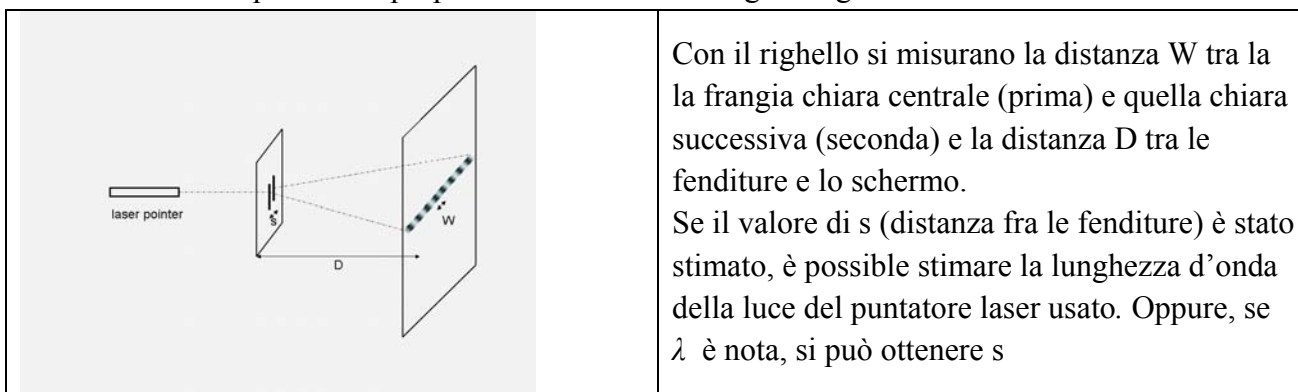
cammino ottico è $n\lambda/2$ (dove $n = 0, 1, 2, \dots$). Dallo schema precedente, nel caso della prima frangia chiara (quella centrale) la differenza di cammino ottico è data da s_1Z . Usando la trigonometria si ha:

$$\sin \theta = \frac{\text{differenza - percorso}}{s} = \frac{\lambda}{s} \quad \text{e} \quad \tan \theta = \frac{W}{s}$$

Per piccolo valori di θ , $\sin \theta \approx \tan \theta$, per cui:

$$\frac{\lambda}{s} = \frac{W}{D} \quad \text{e} \quad \lambda = \frac{Ws}{D}$$

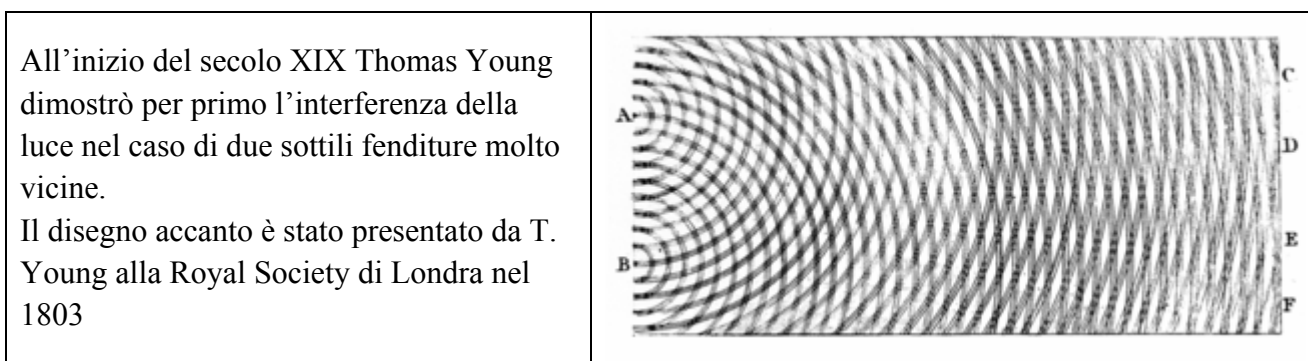
Lo schema dell'esperimento proposto è illustrato nella figura seguente



6 -Alcune note

L'apparato sperimentale proposto permette di osservare l'interferenza attraverso una chiara figura di frange chiare e scure. Ciò illustra la natura ondulatoria della luce e può servire per introdurre il tema dei modelli corpuscolare e ondulatorio entrambi necessari per descrivere e render conto di diversi fenomeni (es. diffrazione ed interferenza, effetto fotoelettrico e Compton).

La figura seguente illustra una nota storica.



Thomas Young spiegò il risultato del suo esperimento come un fenomeno di interferenza di onde diffratte dalle due fenditure e, quindi, che la luce si propaga come onda.

Tra il 1815 ed il 1818 Augustin-Jean Fresnel studio a fondo il fenomeno della diffrazione, sicché la teoria ondulatoria della luce, proposta per primo da C. Huygens, si affermò definitivamente.

Integrazione con attività basate su apparati comunemente presenti nei laboratori scolastici

Il fenomeno d'interferenza, nel caso delle onde d'acqua, è facilmente osservabile mediante un ondoscopio.

In un ondoscopio l'interferenza da due sorgenti coerenti può essere facilmente realizzata (cfr. la foto accanto).

Le due sorgenti coerenti sono due stecchetti mossi dallo stesso motore, sono in fase ed hanno la stessa frequenza.

Le onde d'acqua hanno fronti d'onda circolari.

La figura d'interferenza è ben visibile, nelle frange molto scure l'intensità luminosa è minima (l'acqua ha spostamento quasi nullo), in quelle molto chiare è massima (l'acqua ha spostamento quasi massimo).

La macchia brillante al centro della foro è l'immagine della lampadina che illumina l'ondoscopio dall'alto.

