

LA DIFFRAZIONE DELLA LUCE

Esaminiamo da un diverso punto di vista la diffrazione della luce attraverso una fenditura. Possiamo immaginare di avere ottenuto questa fenditura mettendo l'una accanto all'altra tante fenditure più piccole (come quelle che si usano per l'esperimento di Young), ciascuna delle quali genera un'onda luminosa circolare (figura 1).

La figura di diffrazione che si ottiene è la sovrapposizione di tutte le frange di interferenza generate da queste piccole fenditure virtuali.

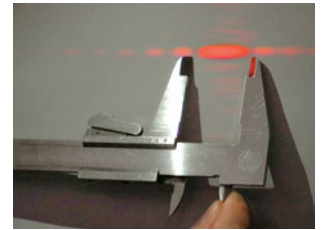
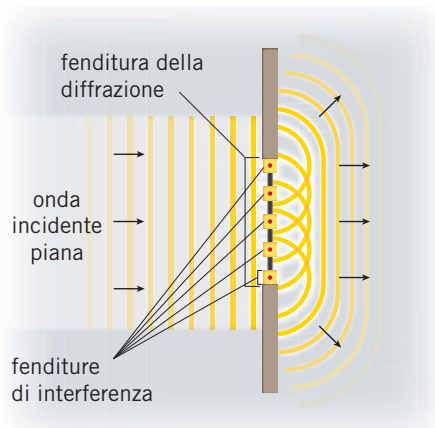


Figura 1 La fenditura di diffrazione si può vedere come l'unione di tante fenditure più strette, analoghe a quelle dell'esperimento di Young.

La fascia luminosa centrale

Per prima cosa vediamo, come mostra la figura 2, che

la fascia centrale brillante della figura di diffrazione è dovuta ai raggi di luce che, dalla fenditura, arrivano sullo schermo in direzione perpendicolare a esso.

Infatti, i punti della fenditura hanno praticamente tutti la stessa distanza dal centro C dello schermo (ricorda che la distanza tra le fenditure e lo schermo è molto grande rispetto alla larghezza d della fenditura); quindi le onde che partono da essi arrivano a C in fase e li interferiscono costruttivamente.

Con un procedimento matematico è possibile determinare la posizione angolare delle frange scure della figura di diffrazione.

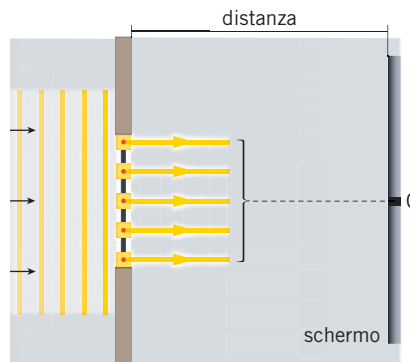


Figura 2 Formazione della riga luminosa centrale sullo schermo.

La prima frangia scura

Per fissare le idee, consideriamo due raggi che partono dai punti P_1 e P_2 , come nella figura 3. P_1 si trova a $1/4$ della fenditura e P_2 è a $3/4$ di essa; in questo modo la distanza tra P_1 e P_2 vale $d/2$. Il segmento P_2M_1 è perpendicolare al raggio di luce.

Scegliamo l'angolo β_1 , formato dai raggi di luce rispetto alla perpendicolare alla fenditura, in modo che si abbia $\overline{P_1M_1} = \lambda/2$. In questo modo i due raggi risultano in opposizione di fase e interferiscono sullo schermo in modo distruttivo.

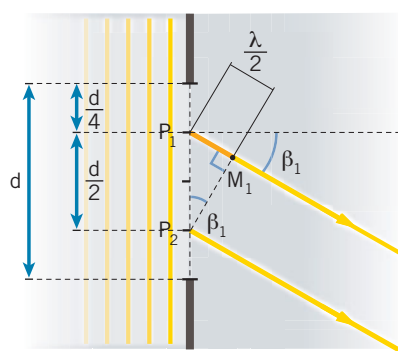


Figura 3 La differenza delle distanze di P_1 e di P_2 dalla prima frangia scura vale $\lambda/2$. P_1 e P_2 distano $d/2$ tra loro.

Anche tutti gli altri punti della fenditura possono essere presi a coppie che distano $d/2$ tra loro e che interferiscono in modo distruttivo; per esempio, nella **figura 4** sono indicati i raggi che partono da punti che distano $1/5 d$ e $(1/5 + 1/2)d$ dal bordo sinistro della fenditura. Quindi tutti i raggi che partono dalla fenditura con l'angolo β_1 descritto sopra interferiscono distruttivamente tra loro e formano la prima frangia scura.

Come è stato mostrato nella trattazione dell'esperimento di Young, anche l'angolo $P_1P_2M_1$ è uguale a β_1 . Quindi, per la trigonometria del triangolo rettangolo, vale la relazione

$$\frac{d}{2} \sin \beta_1 = \frac{\lambda}{2},$$

da cui otteniamo l'equazione che consente di trovare il seno di β_1 :

$$\sin \beta_1 = \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

Le altre frange scure

Consideriamo ora, sulla fenditura, due punti Q_1 e Q_2 che distano $d/4$ tra loro e consideriamo i raggi che escono da questi punti con un angolo β_2 . Ripetendo la costruzione geometrica vista prima (**figura 5**), in cui il segmento Q_2M_2 è perpendicolare a Q_1M_2 , l'angolo β_2 è scelto in modo tale che si abbia $Q_1M_2 = \lambda/2$.

Questa volta la relazione geometrica che vale nel triangolo $Q_2M_2Q_1$ è

$$\frac{d}{4} \sin \beta_2 = \frac{\lambda}{2} \quad \Rightarrow \quad \sin \beta_2 = 2 \frac{\lambda}{d}.$$

Questo processo può continuare prendendo punti della fenditura che distano tra loro $d/6$, $d/8$ e così via; quindi la relazione che permette di calcolare l'angolo β_n , da cui escono i raggi che formano la n -esima frangia scura, è

$$\sin \beta_n = n \frac{\lambda}{d}, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

Le frange luminose

Non esiste un modo semplice per determinare le posizioni angolari dei punti di massimo nelle frange luminose che sono alternate a quelle scure nella figura di diffrazione; se si prendono gli angoli che definiscono due frange scure successive, dati dalla formula (2), i valori di massimo della luminosità non si trovano a metà strada tra di essi, ma un poco spostati verso il centro della figura.

La **figura 6** mostra l'andamento dell'intensità luminosa relativa (cioè il rapporto tra l'intensità della luce a un angolo dato divisa per la massima luminosità che si ha nel centro della figura) nel caso $d = 20\lambda$.

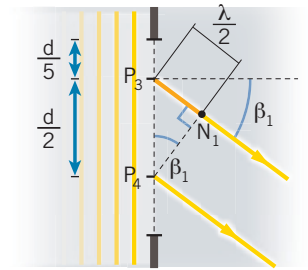
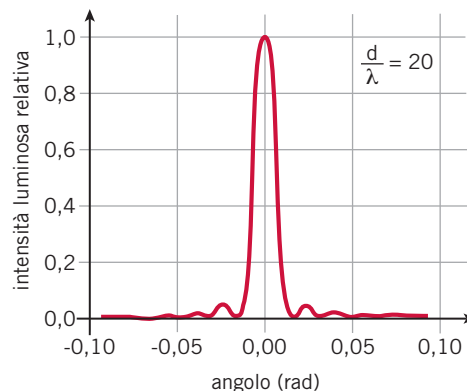


Figura 4 Anche P_3 e P_4 distano $d/2$ tra loro e hanno la stessa proprietà dei punti P_1 e P_2 .

Fenomeno simmetrico

Anche se ci siamo concentrati sulla frangia scura a destra della striscia luminosa centrale, ricorda che un'altra frangia scura si trova alla sinistra di essa, in posizione simmetrica.

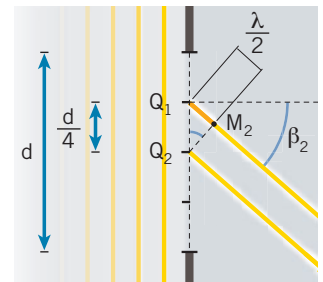


Figura 5 Con punti che distano $d/4$ si ottiene la seconda frangia scura, e così via.

Come si vede

l'intensità luminosa della figura di diffrazione diminuisce rapidamente passando dal massimo centrale alle fasce chiare laterali.

Puoi vedere direttamente le fasce chiare e scure di diffrazione della luce guardando una sorgente di luce (una lampada, la finestra illuminata...) attraverso due dita della mano molto vicine tra loro: guardando con attenzione tra le dita si vedono alcune strisce scure.

ESERCIZI

PROBLEMI

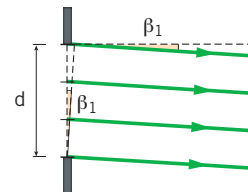
1

PROBLEMA SVOLTO

★★★

Un esperimento di diffrazione attraverso una fenditura è realizzato con luce verde. La larghezza della fenditura misura $7,25 \mu\text{m}$ e la prima fascia scura è posizionata a un angolo di $3^\circ 54'$ rispetto alla fascia luminosa centrale.

- Calcola la lunghezza d'onda della luce utilizzata nell'esperimento.



$d = 7,25 \mu\text{m}$
 $\beta_1 = 3^\circ 54'$
 $\lambda = ?$

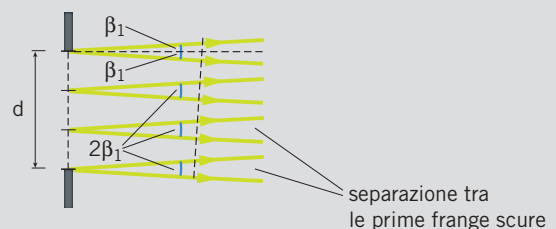
Strategia e soluzione

- Dalla formula (1) possiamo ricavare

$$\lambda = d \sin \beta_1 = (7,25 \times 10^{-6} \text{ m}) \times \sin(3^\circ 54') = (7,25 \times 10^{-6} \text{ m}) \times 0,0680 = 0,493 \times 10^{-6} \text{ m} = 493 \text{ nm}.$$

Discussione

L'esperimento è stato realizzato con una fenditura di $7,25 \mu\text{m}$, che è grande rispetto alla lunghezza d'onda della luce utilizzata, cioè $493 \text{ nm} = 0,493 \mu\text{m}$. È per questo che la fascia luminosa centrale è piuttosto stretta, visto che la separazione angolare tra le prime fasce scure laterali vale $2\beta_1 = 7^\circ 48'$ (figura a lato).



2 ★★★ Un laser emette un fascio di luce rossa, di lunghezza d'onda 670 nm, che attraversa una sottile fenditura di larghezza 1,0 mm.

► Trova l'angolo corrispondente alle prime frange scure di diffrazione simmetriche rispetto alla striscia luminosa centrale.

► Calcola l'angolo se l'ampiezza della fenditura fosse invece di 0,10 mm o 1,0 μm .

► Quale fenditura è più adatta per osservare il fenomeno della diffrazione?

[2,3'; 23'; 42°]

3 ★★★ Un fascio piano di microonde incide su una fenditura larga 6,0 cm. Le prime zone con assenza di microonde diffratte si rilevano in corrispondenza di un angolo di 30°.

► Qual è la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata?

► In quali direzioni si dovrebbero rilevare le seconde zone di assenza di radiazione?

[3,0 cm; 90°]

4 ★★★ Un fascio di luce rossa ($\lambda = 690 \text{ nm}$) attraversa una fenditura larga 5,0 μm e forma una figura di diffrazione su uno schermo posto alla distanza di 40 cm.

► Determina quanto è larga la fascia chiara centrale tra le prime due fasce scure laterali.

► Quante frange scure si formano in tutto sullo schermo?

[11 cm; 14]

5 ★★★ Un lampione stradale emette luce che attraversa una fenditura, ottenuta accostando i rebbi di un calibro, la cui larghezza è di $(0,56 \pm 0,05) \text{ mm}$, e proietta una figura di diffrazione su uno schermo distante $(3,02 \pm 0,02) \text{ m}$. La distanza tra il centro della frangia chiara centrale e la seconda frangia scura è di $(6,40 \pm 0,05) \text{ mm}$.

► Qual è la lunghezza d'onda della luce con la sua incertezza di misura?

► Quale misura occorrerebbe migliorare per ridurre l'incertezza di misura?

[(590 \pm 60) nm]