



Ottica ondulatoria

Vi sono fenomeni luminosi che non possono essere compresi in termini di ottica geometrica, ma richiedono considerazioni di *ottica ondulatoria*. Tra questi vi sono il fenomeno dell'*interferenza* e quello della *diffrazione*.

In termini di ottica ondulatoria si può dare una ulteriore interpretazione dell'indice di rifrazione di un mezzo. Questo era stato definito come rapporto tra la velocità c della luce nel vuoto e la velocità v della luce nel mezzo. Nel caso della luce monocromatica (ovvero di una onda elettromagnetica con frequenza f fissata) vale la relazione

$$v = \lambda f,$$

dove λ è la lunghezza d'onda. La frequenza dell'onda non dipende dal mezzo, ma solo dalla sorgente, mentre la velocità di propagazione, e quindi la lunghezza d'onda, dipendono dal mezzo. Se la relazione precedente vale in un generico mezzo, nel vuoto avremo

$$c = \lambda_0 f,$$

dove con λ_0 abbiamo indicato la lunghezza d'onda nel vuoto. Applicando queste due relazioni alla definizione di indice di rifrazione ed eliminando la frequenza troviamo facilmente

$$n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}.$$

Abbiamo quindi mostrato che, nel caso di luce monocromatica, l'indice di rifrazione è uguale al rapporto tra la lunghezza d'onda nel vuoto e la lunghezza d'onda nel mezzo. E' utile ricordare anche il *principio di Huygens*: ciascun punto di un campo ondulatorio, portato ad oscillare, diviene esso stesso sorgente di onde elementari secondarie. L'onda risultante, che si propaga oltre, si forma dalla sovrapposizione di tutte le onde emesse da queste sorgenti elementari secondarie puntiformi.

Interferenza

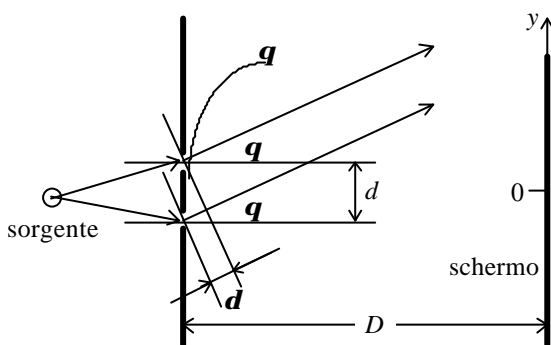
Affinchè le onde luminose emesse da due o più sorgenti interferiscano (costruttivamente o distruttivamente) è necessario che le sorgenti siano *coerenti*, cioè che mantengano una fase costante l'una rispetto all'altra. Non è facile ottenere questa condizione per le sorgenti reali: è necessario ricorrere ad artifici come la *doppia fenditura*, illuminata da una sola sorgente luminosa. Per il principio di Huygens le due fenditure si comportano a tutti gli effetti come due sorgenti coerenti. Se le fenditure sono poste ad una distanza d e si osservano le figure di interferenza su uno schermo posto a distanza $D \gg d$, la differenza di cammino ottico \mathbf{d} per le onde luminose emesse in ogni istante dalle due fenditure dipende dall'angolo \mathbf{q} tra la normale al piano delle fenditure e la direzione considerata: $\mathbf{d} = d \sin \mathbf{q}$ (vedi figura).

L'interferenza è *costruttiva* (frange chiare sullo schermo) quando la differenza di cammino ottico è pari ad un numero intero di lunghezze d'onda:

$$d = d \sin \mathbf{q} = m\mathbf{l} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

ed è invece *distruttiva* (frange scure sullo schermo) quando la differenza di cammino ottico è pari a un multiplo dispari di mezza lunghezza d'onda, ovvero

$$d = d \sin \mathbf{q} = (m + \frac{1}{2})\mathbf{l} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$



Sullo schermo appaiono frange di interferenza, alternativamente chiare e scure. Nell'approssimazione di D molto grande (interferenza all'infinito) e angoli \mathbf{q} piccoli, le posizioni delle frange chiare, misurate a partire da O , si possono scrivere come

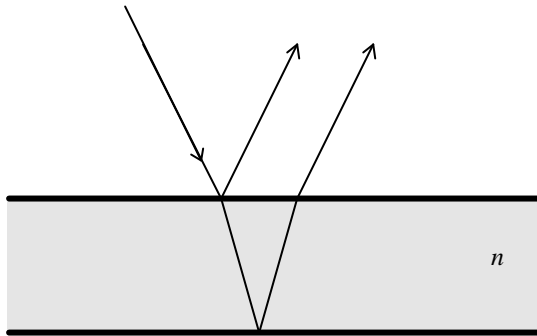
$$y_m = m\mathbf{l} \frac{D}{d},$$

mentre le posizioni delle frange scure sono

$$y_m = (m + \frac{1}{2})\mathbf{l} \frac{D}{d}.$$

Interferenza nelle lamine sottili

Effetti di interferenza si osservano anche nelle lamine sottili, come ad esempio sottili strati di olio sull'acqua o bolle di sapone. L'interferenza è dovuta, in questo caso, alla doppia riflessione del raggio incidente sulle superfici superiore ed inferiore della lamina. Per



determinare le condizioni di interferenza (costruttiva o distruttiva), occorre tenere conto, oltre che dello sfasamento dovuto alla differenza di cammino ottico, del fatto che un'onda che si propaga in un mezzo con un dato indice di rifrazione e che viene riflessa da un mezzo con indice di rifrazione maggiore subisce un ulteriore sfasamento di π . La condizione di interferenza costruttiva nel caso di luce che incide quasi perpendicolarmente ad una lamina di spessore s posta in aria è data da

$$2s = (m + \frac{1}{2}) \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots),$$

dove λ è la lunghezza d'onda della luce nel mezzo di indice di rifrazione n . Ricordando che questa è legata alla lunghezza d'onda nel vuoto λ_0 dalla relazione $\lambda = \lambda_0/n$ abbiamo poi

$$2ns = (m + \frac{1}{2}) \lambda_0 \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

Osserviamo che il primo termine a secondo membro tiene conto della differenza di cammino ottico, mentre il secondo termine tiene conto dello sfasamento dovuto alla riflessione sulla superficie superiore. Analogamente la condizione di interferenza distruttiva è

$$2ns = m \lambda_0 \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

Diffrazione

La natura ondulatoria della luce si manifesta anche in un altro importante fenomeno, quello della diffrazione, che si osserva quando un'onda luminosa incontra ostacoli o fenditure aventi dimensioni confrontabili con la sua lunghezza d'onda. Se ad esempio un'onda luminosa piana di lunghezza d'onda λ incontra uno schermo opaco sul quale è stata aperta una fenditura rettangolare di grande lunghezza e di spessore $b \sim \lambda$, si constata che l'intensità luminosa non si distribuisce uniformemente su un secondo schermo posto dietro la fenditura. Al contrario si osserva un massimo di intensità luminosa



molto pronunciato al centro dello schermo e una successione di massimi secondari, via via meno pronunciati, disposti simmetricamente a sinistra e a destra della riga principale. Gli zeri di intensità luminosa si hanno quando tra le sorgenti elementari di cui si può pensare sia costituita la fenditura vale la condizione di interferenza distruttiva

$$b \sin \mathbf{q} = m\lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \dots).$$