

La Natura della luce

- 1637: *teoria corpuscolare* della luce introdotta per la prima volta da **Cartesio** e successivamente sostenuta da Newton: i corpi luminosi emettono particelle piccolissime e molto veloci le quali si muovono in linea retta finchè non incontrano l'ostacolo.
- 1690: *trattato sulla luce* di **Huygens**, scopritore del fenomeno della diffrazione, spiegata introducendo l'idea dell'esistenza di un mezzo elastico che penetra nella materia e riempie lo spazio detto *etere* . I corpi luminosi comunicano degli impulsi all'etere, che si propagano tramite l'etere stesso (analogia con le proprietà elastiche della materia per la propagazione del suono).

La Natura della luce

- XVII secolo: sviluppo della teoria della luce (Bernoulli ed Eulero) e ipotesi sulla periodicità delle oscillazioni delle particelle dell'etere. Il colore dipendeva dalla frequenza delle oscillazioni.
- XVIII secolo: Fresnel diede una trattazione matematica del meccanismo di propagazione delle onde luminose, supponendo però che le oscillazioni fossero perpendicolari al raggio luminoso (direzione di propagazione). La teoria dell'etere incomincia a decadere.

La Natura della luce

- 1856: Teoria delle linee di forza (**Faraday**).
- 1865: Teoria dinamica del campo elettromagnetico, **Maxwell** delineò un complesso modello meccanico dell'induzione elettromagnetica
- 1873: Trattato sulla elettricità e il magnetismo, **Maxwell** formulò la teoria matematica dei campi, compendiate nelle equazioni dette di Maxwell, dando una spiegazione unitaria dei fenomeni elettrici, magnetici e luminosi
- 1887: **Hertz** provò sperimentalmente l'esistenza di onde elettromagnetiche (onde hertziane), previste teoricamente da Maxwell sedici anni prima, e ne determinò la velocità e le varie modalità di propagazione

Natura ondulatoria della luce

I fenomeni ottici, quali **l'interferenza, la diffrazione e la diffusione**, possono essere compiutamente spiegati assumendo che la luce si propaghi come un'onda sinusoidale trasversale descritta dalla equazione :

$$y = A \sin (kx - \omega t) = A \sin 2\pi (x/\lambda - f t)$$

essendo

A l'ampiezza dell'onda

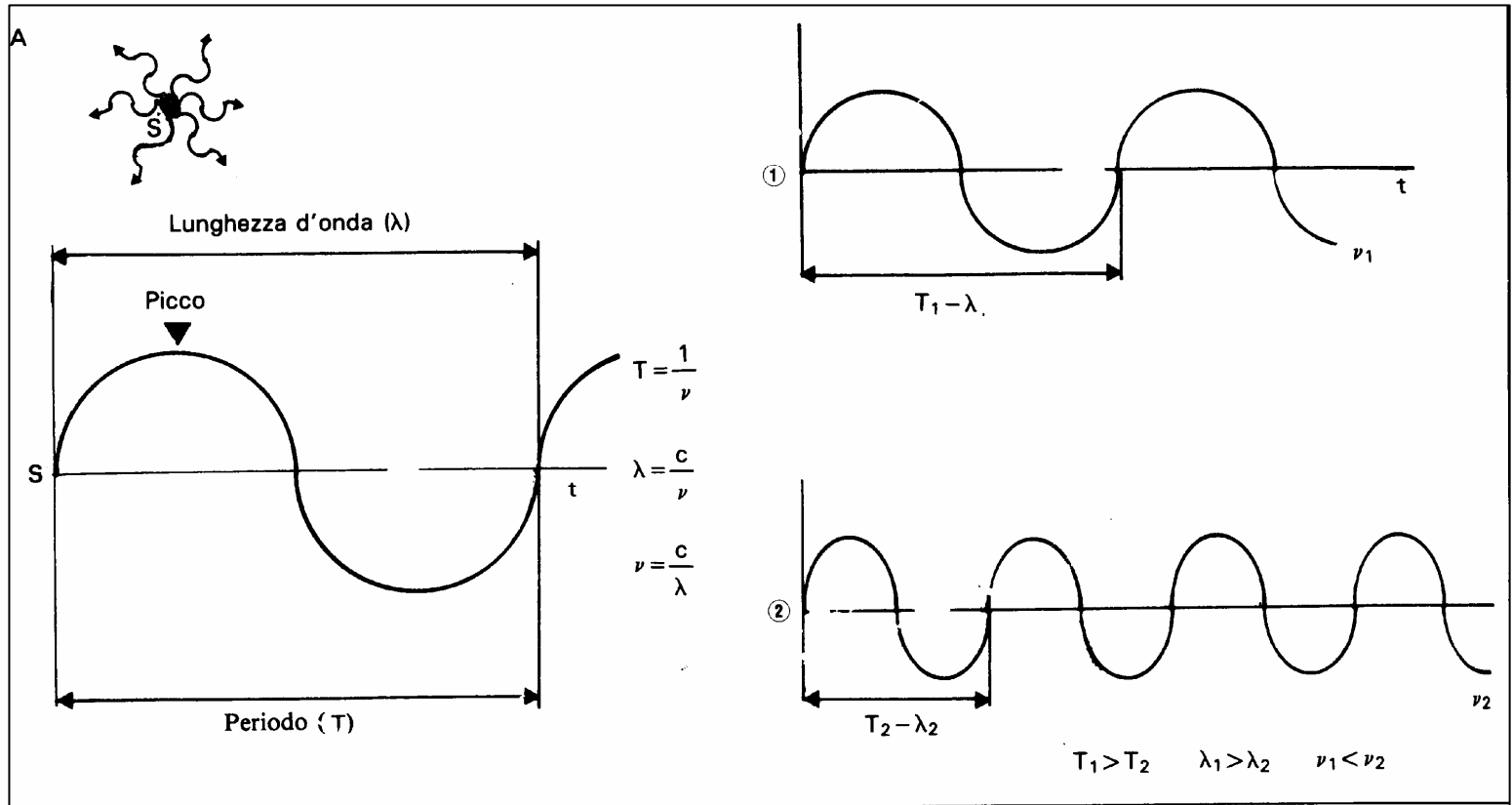
T(sec) tempo necessario a compiere una oscillazione completa

λ (m) la lunghezza d'onda (distanza percorsa dall'onda in un periodo)

f(Hz) la frequenza (numero di oscillazioni compiute in un secondo)

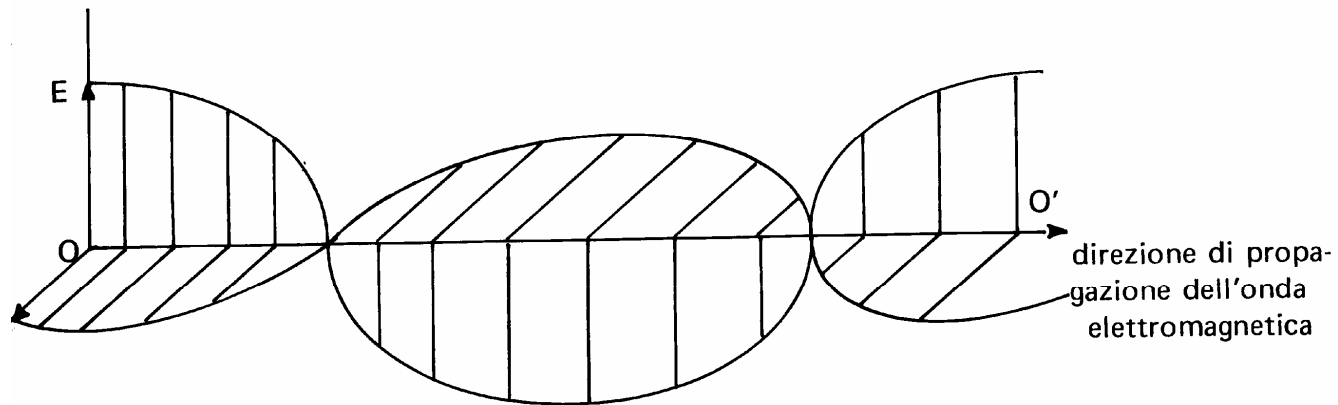
ω la pulsazione pari a $2\pi/T$

Natura ondulatoria della luce



$$y = A \sin (kx - \omega t) = A \sin 2\pi (x/\lambda - f t)$$

Natura ondulatoria della luce



Le radiazioni elettromagnetiche consistono nella propagazione di un campo elettrico e di un campo magnetico sinusoidalmente variabili perpendicolari tra loro e alla direzione di propagazione.

Per esse definiamo la **lunghezza d'onda λ** , la **velocità di propagazione c** ed il **periodo T** per i quali valgono le seguenti relazioni:

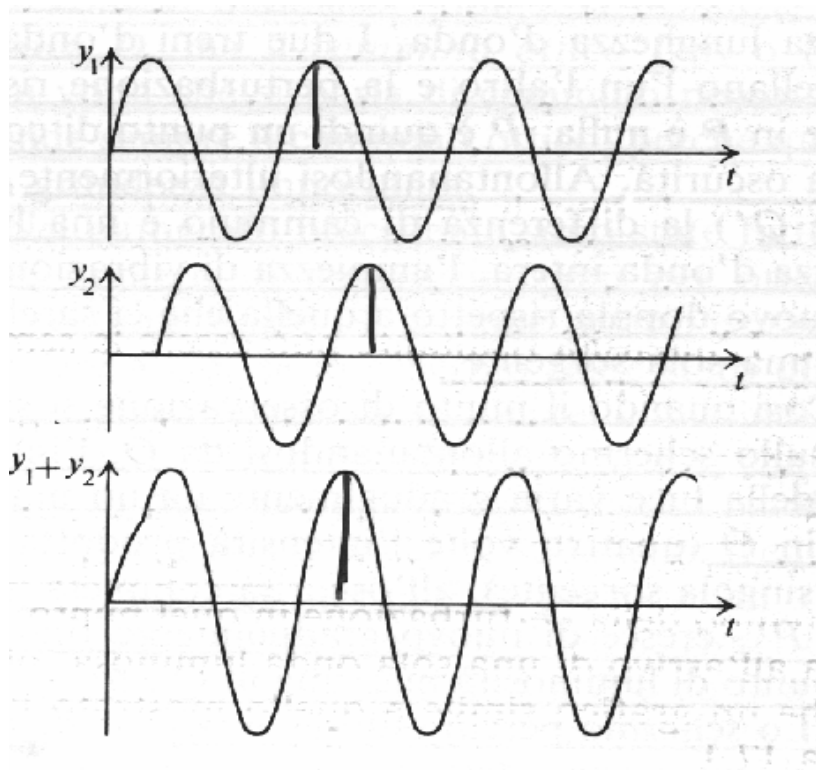
$$c = \lambda \cdot \nu \qquad \nu = 1/T$$

essendo **c** la velocità della luce nel vuoto pari a $3 \cdot 10^8$ m/s.

Natura ondulatoria della luce

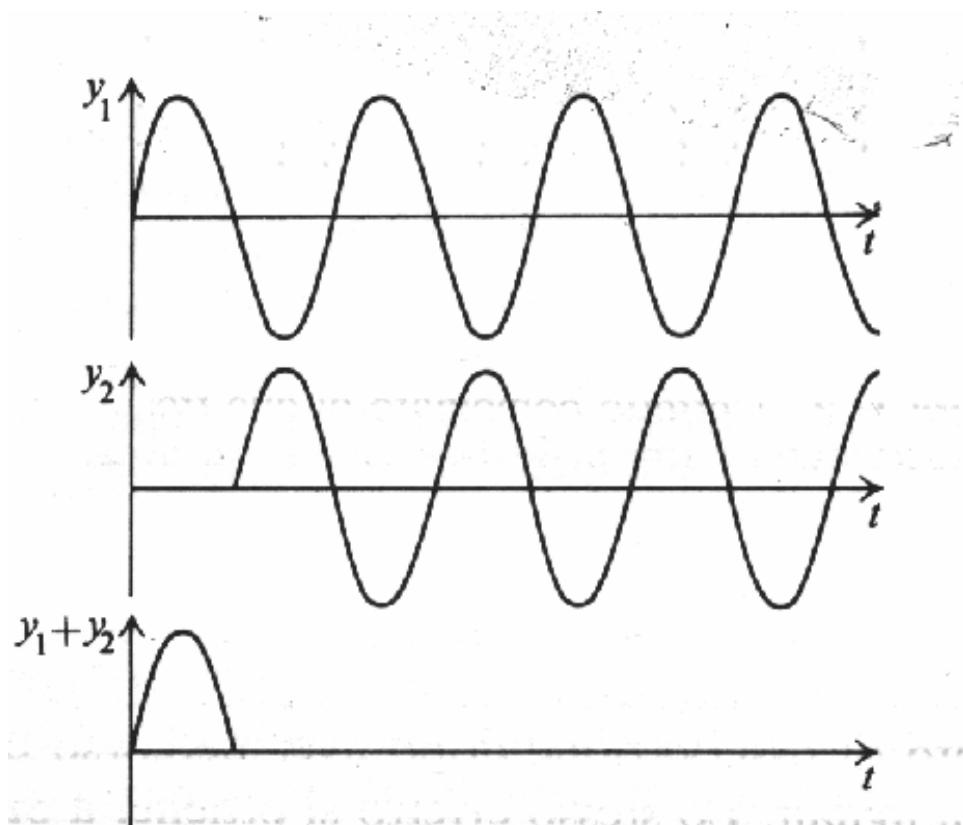
- Per dimostrare qualitativamente le possibili interazioni della luce, consideriamo due treni d'onda “monocromatici” ovvero con la stessa pulsazione (emessi da due sorgenti identiche o ancora meglio ottenuti da una stessa sorgente a cui è stato frapposto uno schermo con due fessure puntiformi che simulano due sorgenti con la stessa pulsazione).
- Idealmente osserviamo in un dato punto dello spazio l'andamento temporale della perturbazione ottenuta come combinazione dei due treni d'onda.

Interferenza della luce (1)



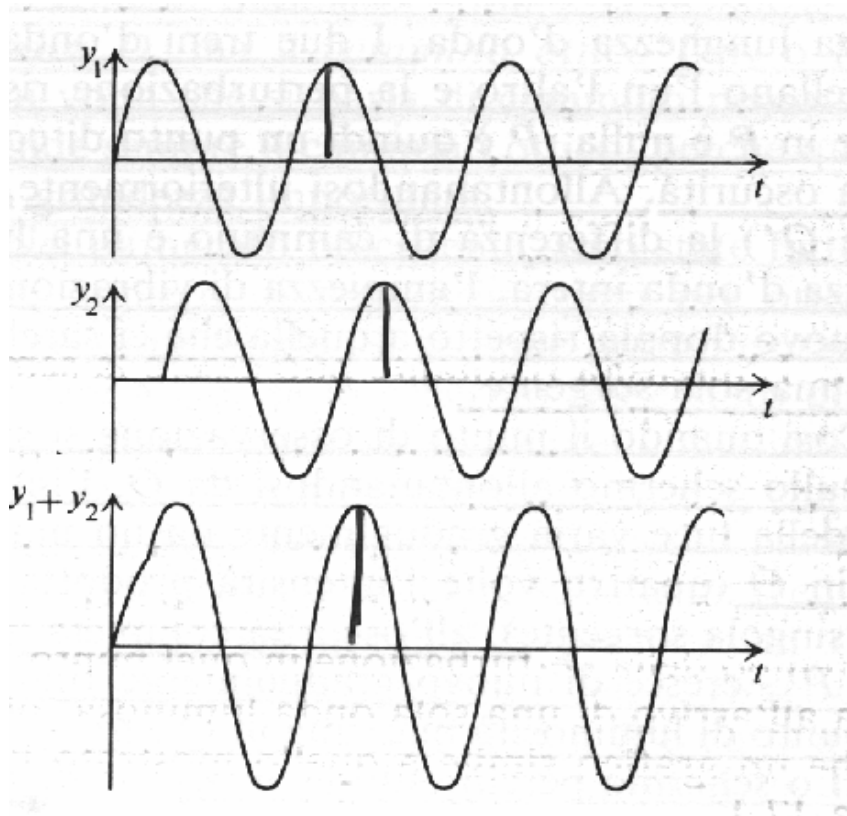
- Se i due treni d'onda giungono nel punto simultaneamente, ovvero risultano in fase o sfasati di 2π , l'effetto combinato delle due perturbazioni è un'onda con la stessa pulsazione di ampiezza doppia

Interferenza della luce (2)



e i due treni d'onda
iungono nel punto con
na differenza di fase
ari a π o $(2n + \pi)$,
effetto combinato delle
ue perturbazioni è
n'onda nulla

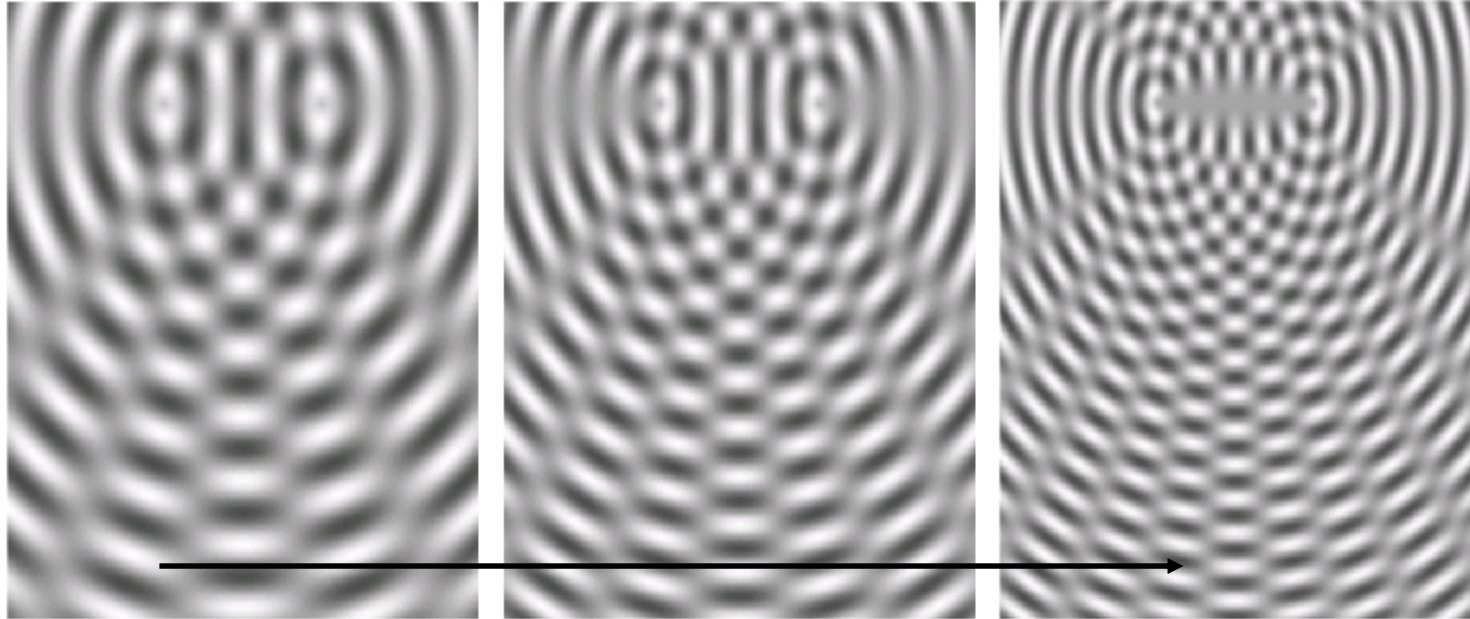
Interferenza della luce (3)



Se i due treni d'onda giungono nel punto con una differenza di fase intermedia, l'effetto combinato delle due perturbazioni è un'onda con una pulsazione di ampiezza pari alla somma algebrica delle ampiezze

Interferenza della luce: in funzione della lunghezza d'onda

La seconda sequenza di disegni mostra che cosa succede modificando la lunghezza d'onda senza cambiare la distanza fra le sorgenti (da sinistra a destra la lunghezza d'onda diminuisce). Si osserva, esattamente come nel caso precedente, che linee di massimo di interferenza e le linee nodali aumentano di numero.



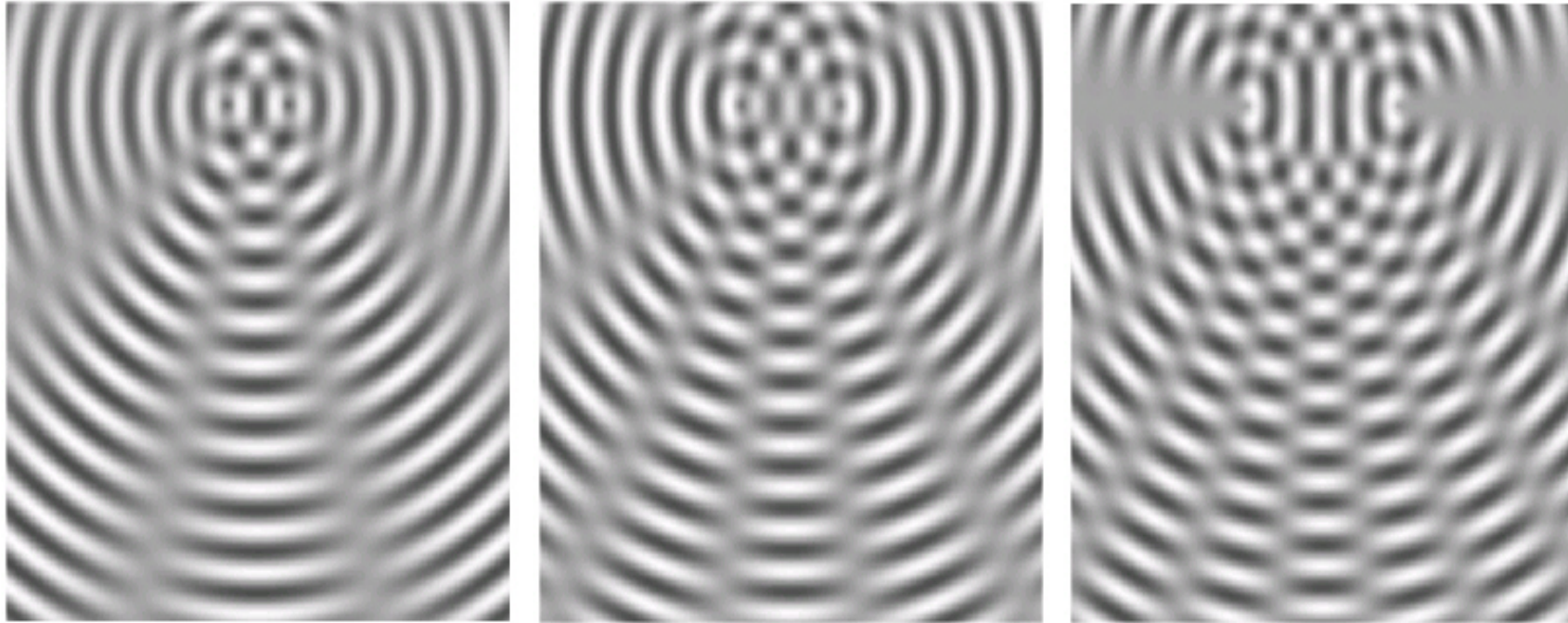
la lunghezza d'onda diminuisce

In questo esempio vediamo come varia il fenomeno della interferenza prodotta da due sorgenti identiche, quando varia la lunghezza d'onda:

Aumentano i punti di massima interferenza e le linee nodali

Interferenza della luce: in funzione della distanza

I disegni seguenti mostrano quello che succede modificando la distanza fra le sorgenti (da sinistra verso destra la distanza aumenta).

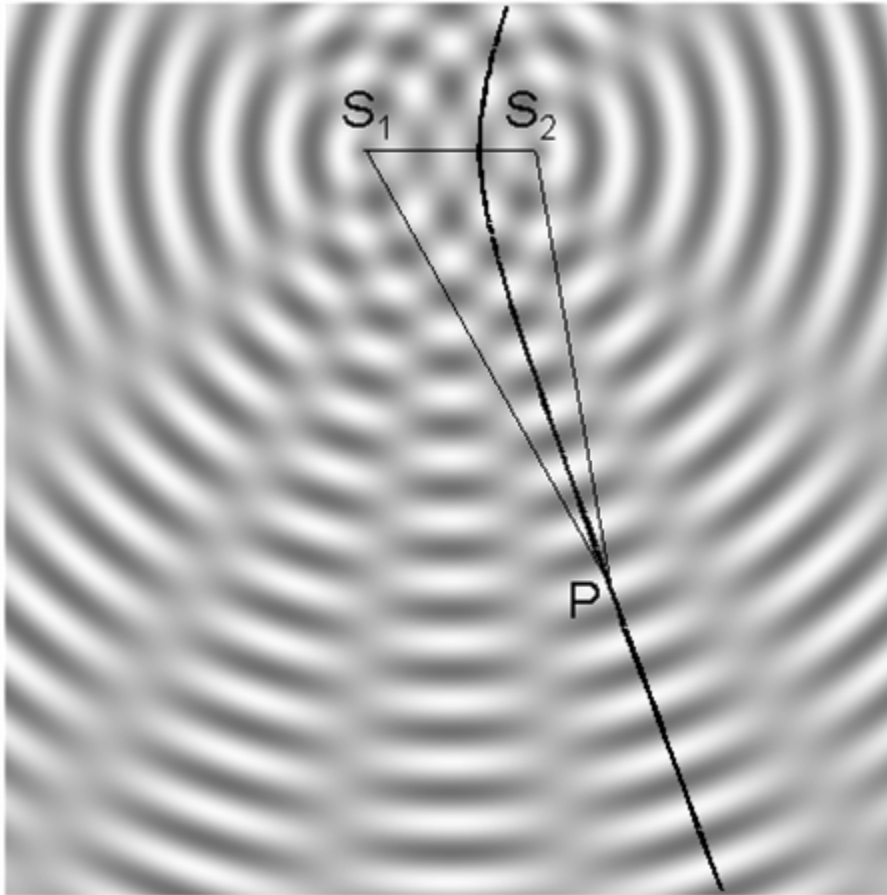


In questo esempio vediamo come varia il fenomeno della interferenza prodotta da due sorgenti identiche, quando varia la distanza tra esse:

Aumentano i punti di massima interferenza e le linee nodali

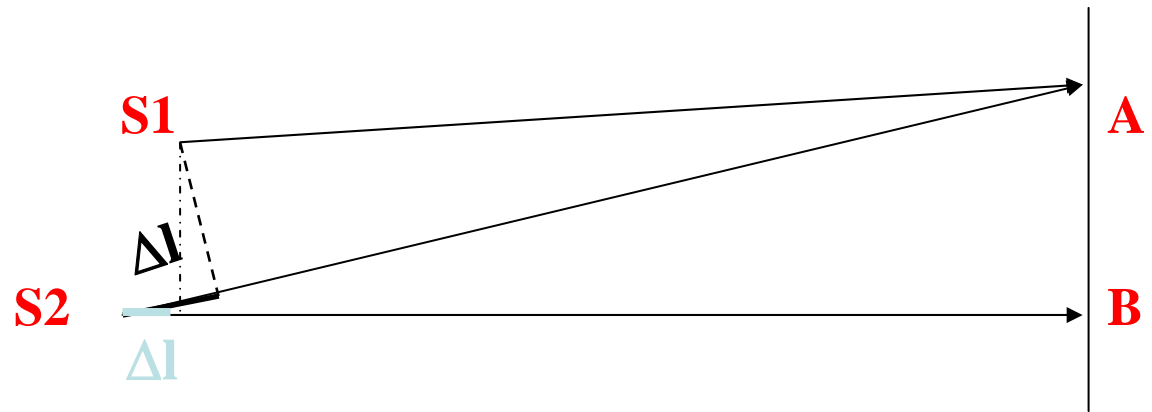
Analisi della interferenza della luce

Si considerino due onde luminose di eguale frequenza e di eguale fase iniziale, emesse rispettivamente dalle sorgenti S_1 ed S_2 , le quali vengono raccolte in un punto P.



Analisi della interferenza della luce

Si considerino due onde luminose di eguale frequenza e di eguale fase iniziale, emesse rispettivamente dalle sorgenti S_1 ed S_2 , le quali vengono raccolte da uno schermo R .



Δl = differenza tra le distanze percorse dalle due onde per giungere in A

Δl = differenza tra le distanze percorse dalle due onde per giungere in B

Interferenza della luce

- Se la posizione del punto sullo schermo è tale che Δl risulta uguale ad un **numero pari** di mezze lunghezze d'onda:

$$\Delta l = k \lambda \quad \text{per } k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- le due onde giungono in fase sul punto, l'elongazione dell'una si somma aritmeticamente con quella dell'altra: si ha una intensificazione dell'intensità luminosa ovvero si ha una **interferenza positiva o costruttiva**.

Interferenza della luce

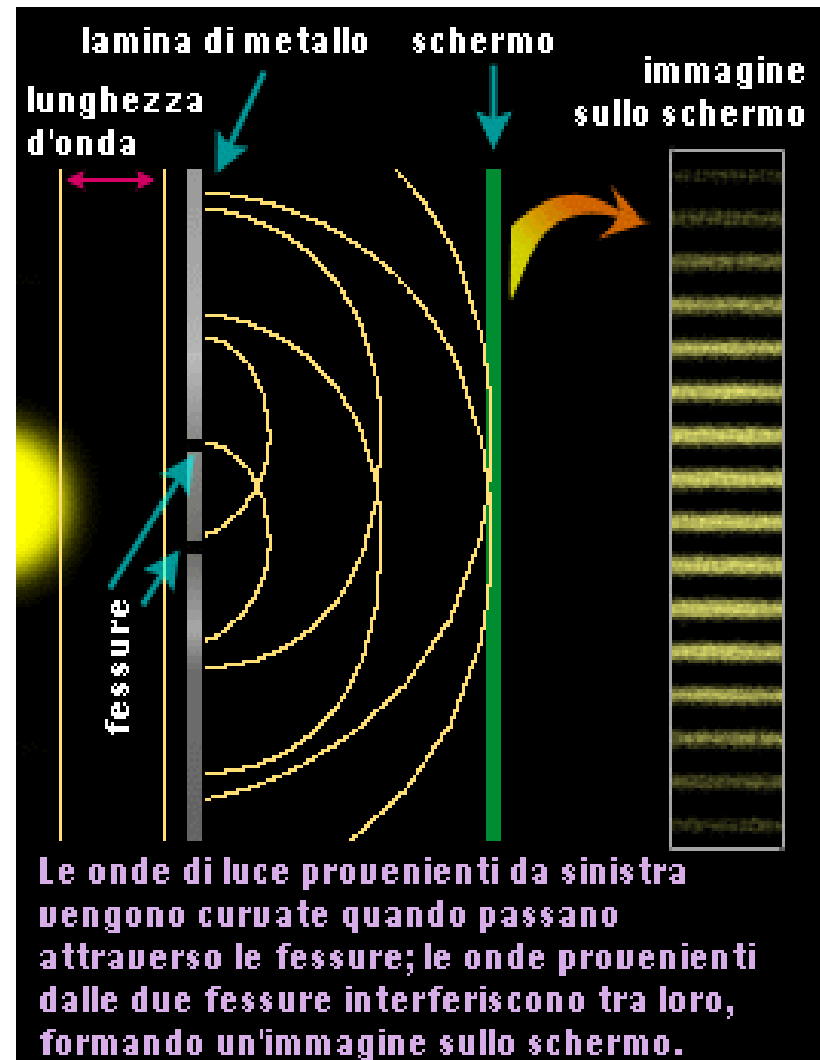
- Se la posizione del punto sullo schermo è tale che Δl risulta uguale ad un **numero dispari** di mezze lunghezze d'onda:

$$\Delta l = (2k + 1) \lambda / 2 \quad \text{per } k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- le due onde giungono in opposizione di fase sul punto, l'elongazione dell'una si somma algebricamente con quella dell'altra: si ha un indebolimento dell'intensità luminosa ovvero si ha una **interferenza negativa o distruttiva**.

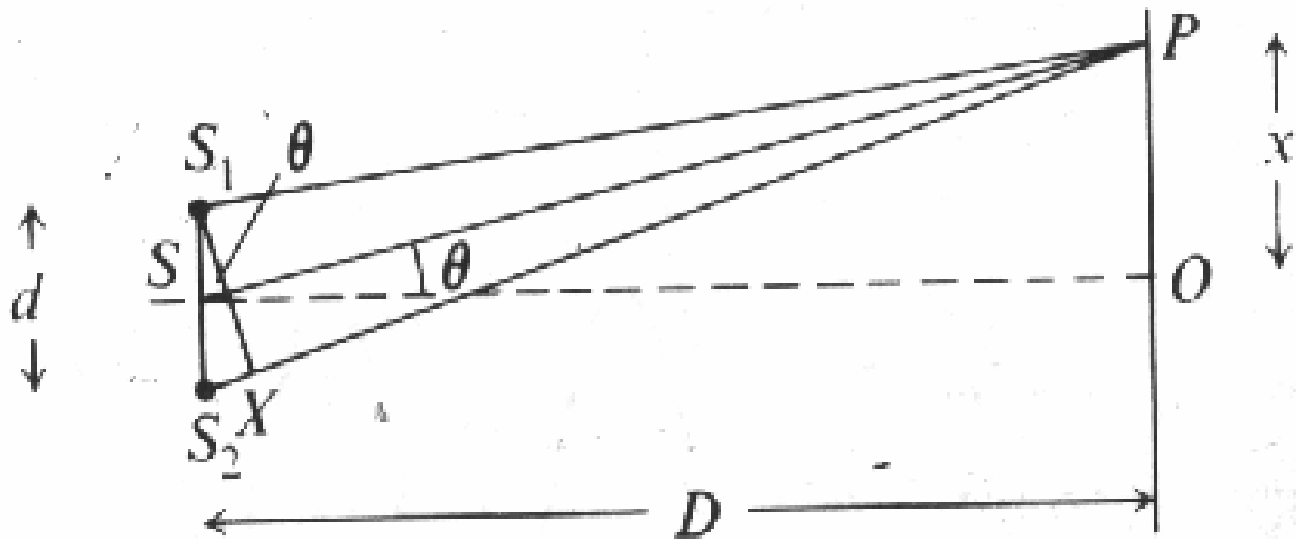
Interferenza della luce

Nei punti compresi tra una posizione di massima interferenza positiva e quella più vicina di interferenza negativa, il fenomeno si manifesta più o meno rinforzato oppure indebolito, a seconda della posizione del punto che si considera: **frange di interferenza**.



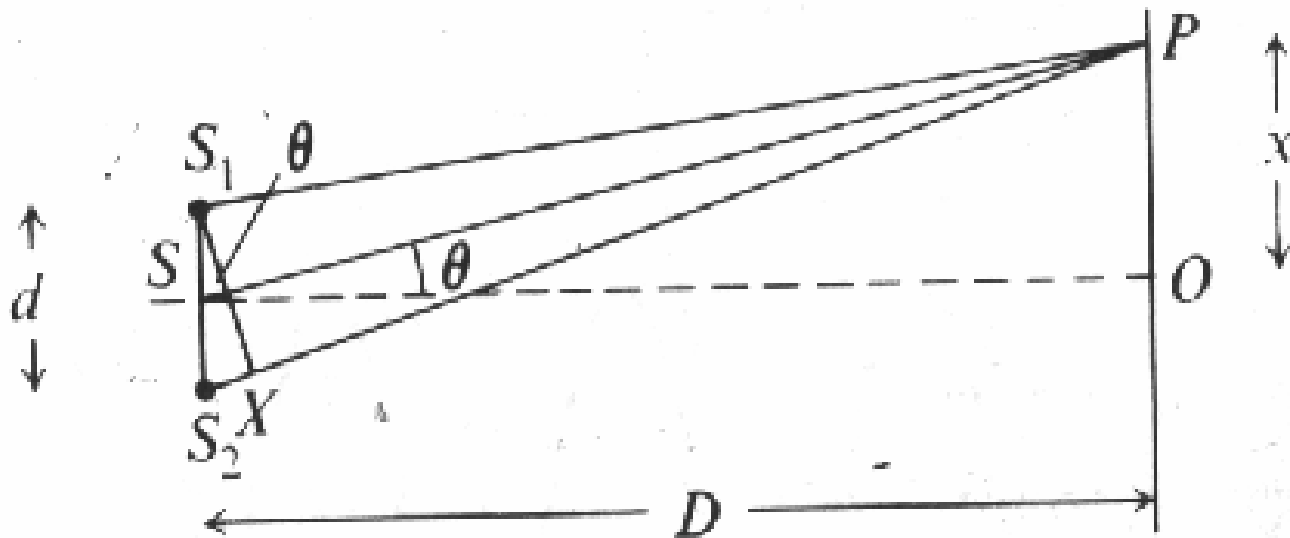
Analisi matematica della interferenza

Consideriamo due sorgenti S_1 ed S_2 che emettono due treni d'onda monocromatica di lunghezza d'onda λ .

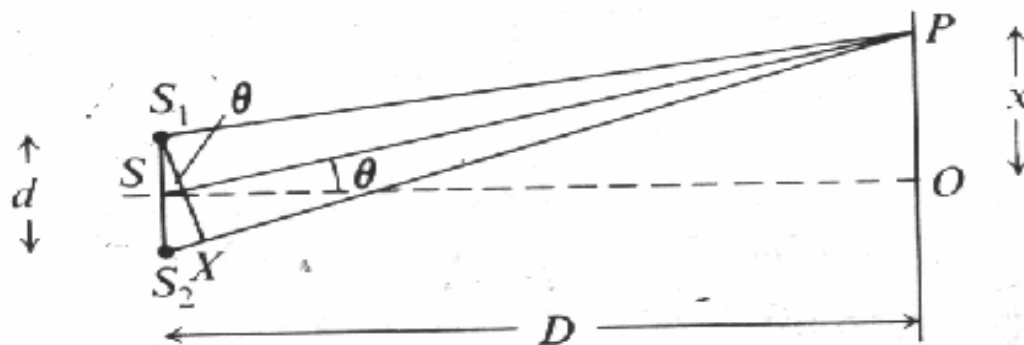


Analisi matematica della interferenza

Il fenomeno dell'interferenza si osserva solo se il punto P sullo schermo è vicino ad O (centro dello schermo) e la distanza tra le due sorgenti d è piccola rispetto la distanza D tra le sorgenti e lo schermo di osservazione.



Analisi matematica della interferenza



In queste condizioni si può affermare che:

$$S_1P = XP$$

$$S_1S_2 \perp SO$$

$$S_1X \perp SP$$

$$\Rightarrow S_2S_1X = \theta$$

$$S_2X = S_2P - S_1P = d \sin \theta$$

Se θ è molto piccolo: $\sin \theta \approx \theta$ e $\sin \theta \approx x/D$

$$d \sin \theta = d x / D = S_2P - S_1P$$

Analisi matematica della interferenza

Se P è un punto di massimo: $d x / D = m\lambda$

Se P è un punto di minimo: $d x / D = (m + 1/2)\lambda$

La distanza tra due ordini successivi è pari a:

$$x_{m+1} - x_m = D/d \lambda$$

*La distanza tra due frange successive è
indipendente dall'ordine*

Analisi matematica della interferenza

Le frange successive (sia di massima che di minima intensità) sono equidistanti pari a $D/d \lambda$.

Quindi per poter distinguere frange successive, essendo λ piccola, la *distanza dallo schermo* D dovrà essere *molto più grande di* d .

Nell'ipotesi che la luce non sia monocromatica, ogni lunghezza d'onda produce la propria figura di interferenza.

L'effetto finale sullo schermo è quello di produrre attorno al punto O un sistema di frange colorate che sfumano gradualmente verso un fondo più o meno uniformemente illuminato.

CAMMINO OTTICO

Consideriamo due treni d'onda che viaggiano in mezzi diversi: come noto la velocità della luce è diversa, minore nel mezzo ad indice di rifrazione n maggiore.

La frequenza di un treno d'onda cambiando il mezzo non varia, quindi è la lunghezza d'onda che dipende dal mezzo:

$$f = v / \lambda$$

e

$$\lambda = \lambda_0 v/c = \lambda/n$$

CAMMINO OTTICO

Se due onde percorrono la stessa distanza D ma in due mezzi ad indice di rifrazione diverso n_1 ed n_2 , il numero di lunghezze d'onda percorse è diverso pari a D/λ_1 e D/λ_2 , inoltre dalla relazione precedente si ottiene che:

$$D/\lambda_1 = Dn_1/\lambda_0$$

$$D/\lambda_2 = Dn_2/\lambda_0$$

- Definiamo il fattore Dn_1 o Dn_2 come **cammino ottico** ed è questa grandezza che definisce il cammino effettivamente percorso dalla onda.

Coerenza

Nella realtà quotidiana, considerando sorgenti luminose diverse monocromatiche, anche se apparentemente identiche, non è possibile verificare il fenomeno dell'interferenza.

Le sorgenti non risultano “coerenti” fra loro.

Coerenza

Infatti la luce viene emessa per processi di diseccitazione che coinvolgono gli atomi, o meglio un gran numero di atomi (numero di Avogadro!!).

L'emissione è del tutto casuale e quindi anche per tempi brevissimi la fase dei treni d'onda cambia continuamente: la luce è il risultato di questo gran numero di treni d'onda del tutto “incoerenti” tra loro.

Solo la luce laser per effetto del principio fisico che la produce risulta essere coerente, monocromatica e polarizzata.

Coerenza

Per ovviare al problema è possibile visualizzare le frange di interferenza utilizzando una sola sorgente e interporre tra sorgente luminosa e schermo di visualizzazione un sistema di fenditure come dimostrato dall'**esperimento di Young**.

