

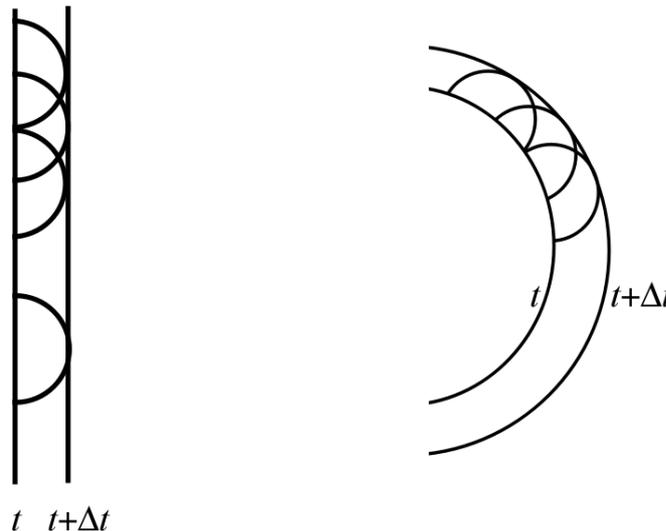
# Ottica fisica

- La luce è stata considerata una particella da Newton fino a Young (inizi XIX secolo)
- Nell'800 si sono studiati i fenomeni ondulatori associati alla luce
- Nel secolo scorso alcuni effetti (fotoelettrico, Compton) hanno suggerito l'esistenza di un comportamento corpuscolare
- Molti fenomeni si possono studiare considerando solo la natura ondulatoria: diffrazione, interferenza, polarizzazione

# Principio di Huygens

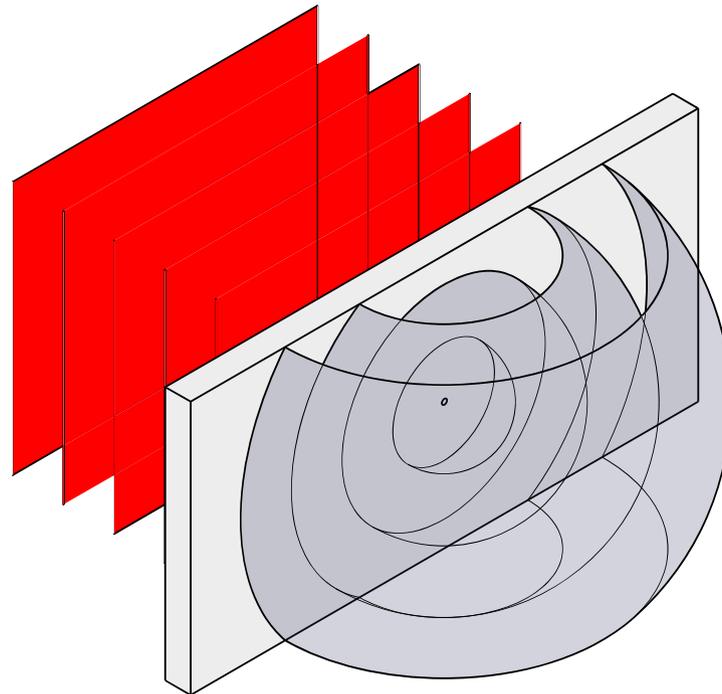


- Serve a costruire il fronte d'onda a un certo tempo se lo si conosce a un tempo precedente
- *Ogni fronte d'onda può essere considerato sorgente di onde sferiche che si propagano in avanti alla stessa velocità dell'onda; la superficie tangente a tutti i fronti così costruiti è il fronte d'onda successivo*



# Diffrazione

- Il principio di Huygens implica la possibilità che un'onda possa passare intorno a un ostacolo
- Un'onda può passare attraverso una fenditura e poi “allargarsi” usando il questo principio



# Rifrazione col principio di Huygens

- Il fronte d'onda nel secondo mezzo è piano come nel primo

- Si vede che

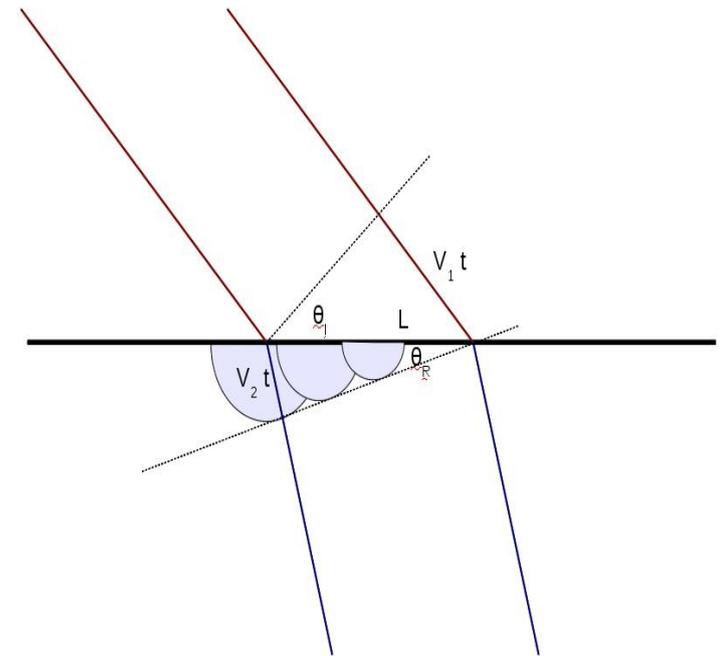
$$L \sin(\theta_I) = v_I t \text{ e } L \sin(\theta_R) = v_R t$$

- Dividendo trovo

$$\sin(\theta_I) / (v_I t) = \sin(\theta_R) / (v_R t)$$

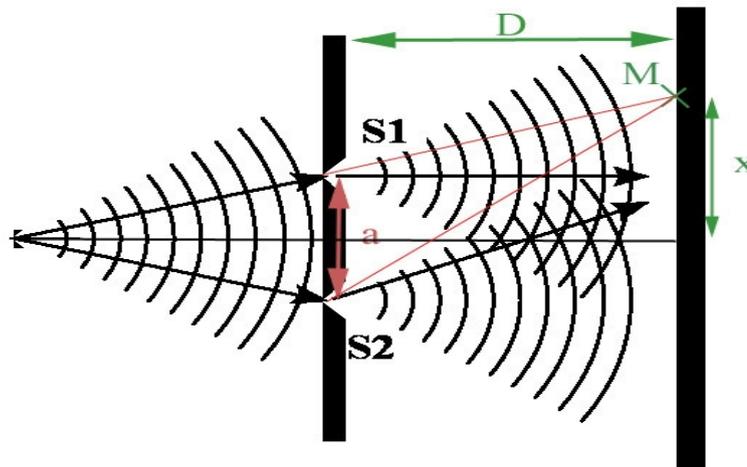
- Ricordando che  $c/v = n$

$$n_I \sin(\theta_I) = n_R \sin(\theta_R)$$



# Esperimento di Young

- Una sorgente di luce passa attraverso una fenditura e viene diffratta
- Il fronte d'onda a grande distanze è piano
- Faccio passare quest'onda attraverso due fenditure, ottenendo due sorgenti identiche
- Le onde vengono difratte e interferiscono su uno schermo

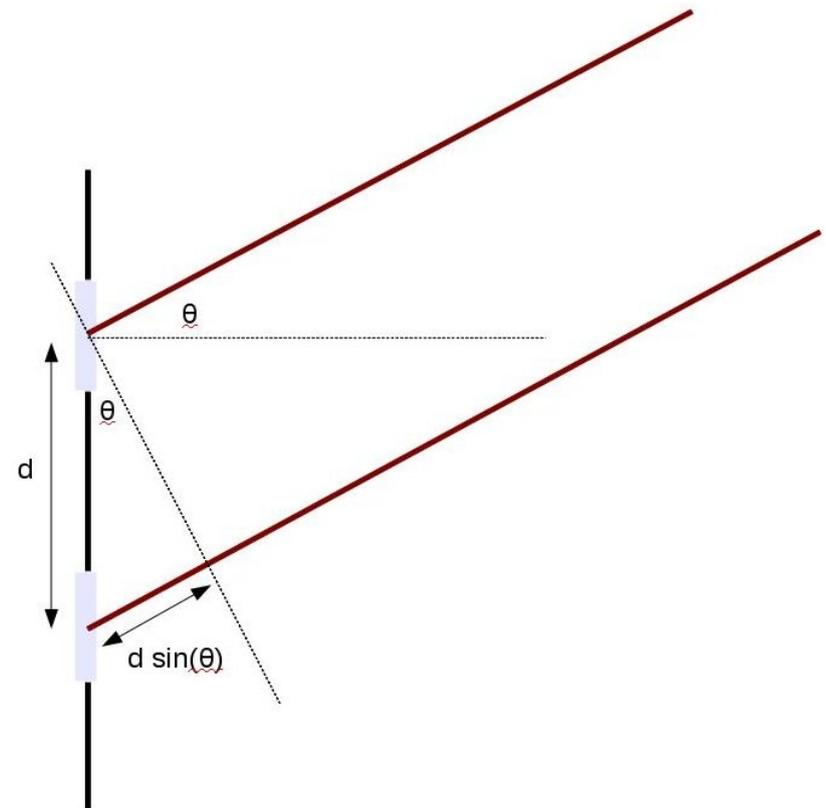


# Interferenza

- In un punto possono sovrapporsi due onde contemporaneamente
- I loro effetti si sommano
- Nel caso delle onde elettromagnetiche c'è trasporto di campo elettrico, e il principio di sovrapposizione dice che si sommano i campi elettrici
- In generale si sommano le ampiezze, non le intensità delle onde

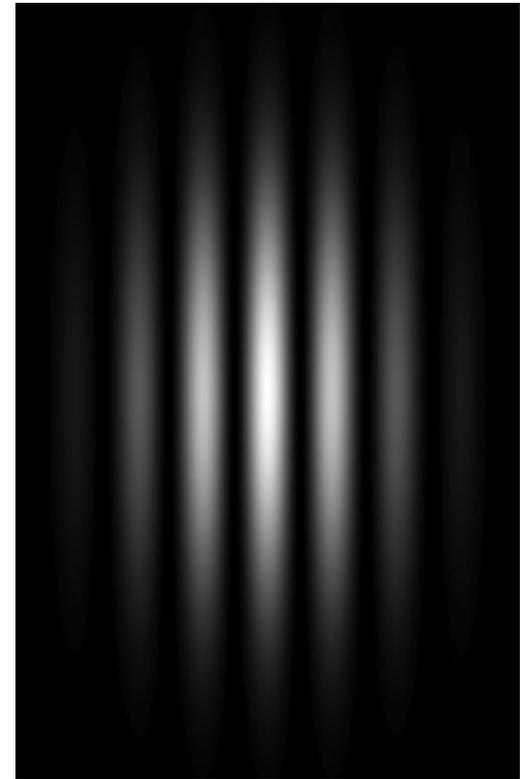
# Interferenza costruttiva e distruttiva

- Se i campi elettrici hanno fase uguale, l'ampiezza è  $E_1+E_2$  e l'intensità proporzionale a  $(E_1+E_2)^2$
- Se sono sfasati di  $180^\circ$ , le ampiezze si sottraggono e l'intensità è  $(E_1-E_2)^2$
- La fase relativa dipende dall'angolo di uscita dalle due fenditure
- La differenza di cammino è  $d \cdot \sin(\theta)$
- L'interferenza è costruttiva se la differenza di fase è multipla di  $2\pi$
- In questo caso  $d \cdot \sin(\theta) = k \lambda$
- Se  $d \cdot \sin(\theta) = (k+1/2) \lambda$  l'interferenza è distruttiva



# Evidenze sperimentali

- L'interferenza si vede bene solo se lunghezza d'onda e distanza delle fenditure sono paragonabili
- La luce deve essere monocromatica
- La luce deve essere coerente (laser)
- L'intensità della luce decresce all'aumentare dell'angolo (il principio di Huygens non dice nulla sull'intensità)

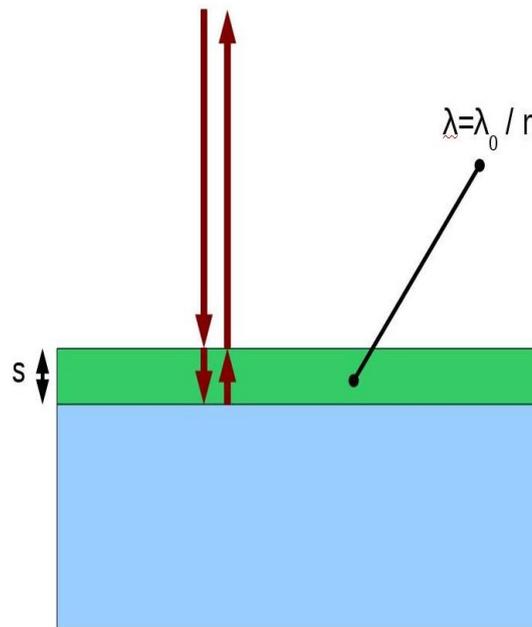


# Frequenza e lunghezza d'onda

- La frequenza dell'onda rimane invariata nella rifrazione
- La lunghezza d'onda deve quindi cambiare
- $\lambda \cdot f = v$  e quindi, se  $f$  è inalterata e  $v$  è  $c/n$ ,  $\lambda = \lambda_0/n$

# Interferenza da pellicole sottili

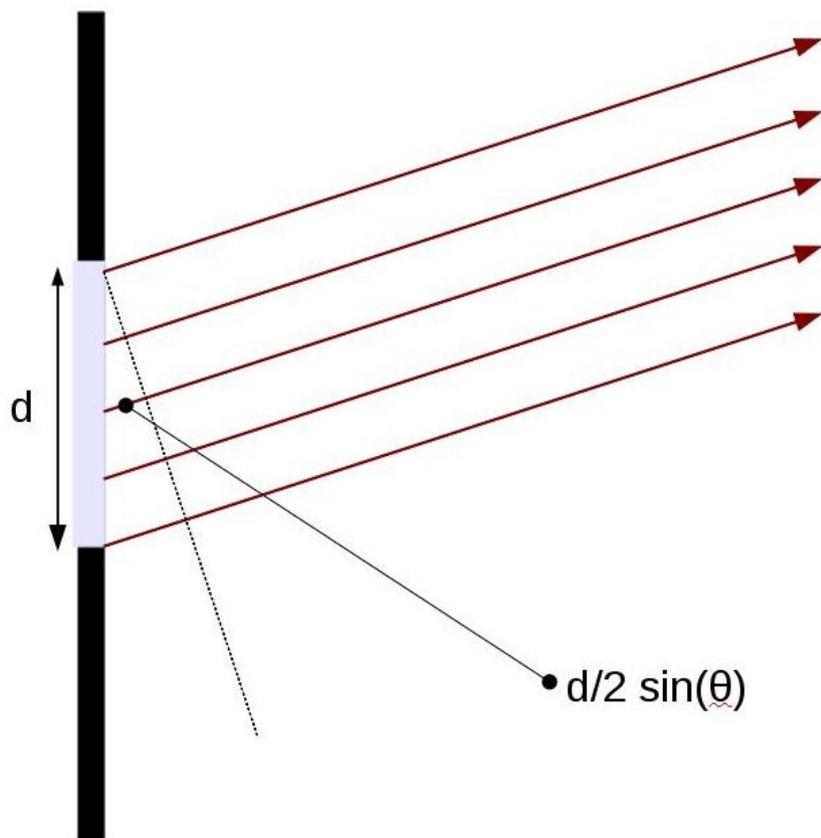
- Perché le bolle di sapone sono così colorate?
- La luce che viene riflessa dal primo stato di liquido interferisce con quella dello strato successivo
- Uno dei raggi percorre una distanza maggiore di  $2s$
- Corrisponde a uno sfasamento di  $2sn/\lambda_0 \cdot 2\pi + \pi$
- L'interferenza dipende dalla lunghezza d'onda, anche a un angolo prefissato
- Questo fenomeno è usato anche per costruire schermi antiriflesso



# Diffrazione da un disco opaco

- Un fronte d'onda che passa vicino a un disco opaco genera onde anche nella zona che sarebbe proibita se il moto fosse rettilineo (Fresnel)
- Al centro del disco ci dovrebbe allora essere un punto luminoso (Poisson)
- Questo punto è effettivamente osservato
- La cometa dei magi ha a che fare con questo?
- E i grumi di sangue nell'occhio?

# Diffrazione da fenditura singola



- Si può considerare come una coppia di fenditure distanziate  $d/2$
- L'interferenza sarà costruttiva se  $d/2 \cdot \sin(\theta) = k\lambda$ , quindi  $\sin(\theta) = 2k\lambda / d$
- L'interferenza sarà distruttiva per  $d/2 \cdot \sin(\theta) = (k+1/2)\lambda$ , quindi  $\sin(\theta) = (2k+1)\lambda / d$

# Reticoli di diffrazione



- Sono costituiti da molte fenditure equidistanziate
- La condizione per avere un massimo è la stessa delle due fenditure  $\sin(\theta) = k \lambda / d$
- I massimi sono però molto più marcati
- Il reticolo serve quindi per misurare le lunghezze d'onda, e vedere lo spettro della luce

# Polarizzazione

- I campi elettrico e magnetico trasportati da un'onda sono perpendicolari alla direzione di propagazione e possono muoversi in un piano
- Quando oscillano sempre lungo la stessa retta l'onda si dice polarizzata linearmente
- I cristalli polaroid polarizzano le onde in un piano.
- Se cerco di polarizzare un'onda già polarizzata in un piano perpendicolare, cancello l'onda
- Alcune sostanze, come gli zuccheri, fanno ruotare il piano di polarizzazione: misurando la rotazione si può trovare la concentrazione degli zuccheri in una soluzione
- L'intensità trasmessa di un'onda polarizzata che viene polarizzata nuovamente in un piano che forma angolo  $\theta$  con quello di polarizzazione è  $I(\theta) = I_0 \cos^2(\theta)$  (legge di Malus)

# Polarizzazione per riflessione

- La luce riflessa ha una polarizzazione prevalente nel piano parallelo alla superficie
- La luce riflessa dalla strada o dalla neve può essere quindi eliminata con occhiali polaroid, che hanno un piano di polarizzazione verticale
- Anche per fotografare un filtro polarizzatore permette di eliminare molti riflessi
- La luce riflessa alla superficie tra due mezzi è interamente polarizzata quando l'angolo incidente è l'angolo di Brewster (o di polarizzazione)  $\theta_P$ , e luce riflessa e rifratta fanno un angolo retto: l'angolo incidente è allora dato da

$$\operatorname{tg}(\theta_P) = n_2 / n_1$$

# Problemi

- Il principio di Huygens vale per le onde sonore e per quelle dell'acqua?
- Come cambierebbe l'esperimento di Young se si mettesse il tutto in acqua anziché in aria?
- Come faccio a sapere se i miei occhiali da sole usano filtri polarizzatori? (Orologio, tramonto)
- La luce della mia torcia elettrica non produce una figura di diffrazione, perché?

# Esercizi

- Un fascio di luce monocromatica incide su una coppia di fenditure distanti  $0.016 \text{ mm}$ . Se il massimo del quinto ordine è a  $8.8^\circ$  quanto vale  $\lambda$ ?
- Un fascio di luce monocromatica incide su una fenditura larga  $2.60 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ . L'angolo tra le due frange scure attorno al massimo centrale vale  $35^\circ$ . Quanto vale  $\lambda$ ?
- Due polarizzatori sono posti a  $56^\circ$  l'uno rispetto all'altro. Se il sistema viene investito da luce non polarizzata, qual è la percentuale di luce trasmessa?