

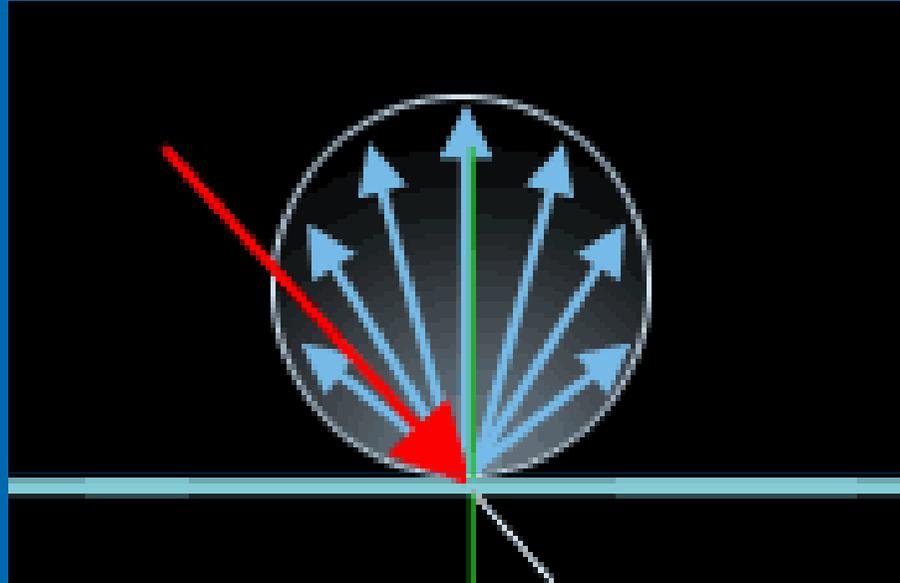
LUCE E FENOMENI OTTICI

- Il termine luce si riferisce alla porzione dello spettro elettromagnetico visibile dall'occhio umano ; è approssimativamente compresa tra 400 e 700 nanometri di lunghezza d'onda, ovvero tra 750 e 428 [THz] di frequenza.
- La teoria ondulatoria fa riferimento alla propagazione di un'onda elettromagnetica.
La parola "ondulatoria" deriva dalla constatazione che alcuni fenomeni si spiegano più facilmente considerando la propagazione nello spazio di un'onda elettromagnetica , piuttosto che di un raggio luminoso di particelle.

- La radiazione luminosa è generata dall'oscillazione di cariche elettriche a livello atomico o molecolare , come un'onda radio che è generata dal movimento di cariche elettriche in un'antenna.
- Una carica elettrica in oscillazione genera un campo magnetico che a sua volta genera un campo elettrico.
- La luce, come tutte le onde elettromagnetiche, interagisce con la materia. I fenomeni più comuni osservabili sono :
 - riflessione
 - rifrazione
 - assorbimento
 - dispersione
 - diffusione (scattering)
 - diffrazione
 - polarizzazione

RIFLESSIONE

Riflessione diffusa



La riflessione diffusa si ottiene con superfici opache.

Nella riflessione diffusa, contrariamente a quanto avviene nella riflessione speculare, ogni raggio incidente viene spezzato e riflesso in tutte le direzioni, con una distribuzione sferica che è indipendentemente dalla direzione del raggio incidente.

La legge della riflessione diffusa stabilisce che l'intensità luminosa della luce riflessa da una superficie diffondente ha il suo massimo in direzione perpendicolare alla superficie, e varia in tutte le direzioni in funzione del coseno dell'angolo con la perpendicolare.

Riflessione speculare

La riflessione speculare si ottiene con superfici lucide e specchiate. Nella riflessione speculare, ad ogni raggio incidente che colpisce la superficie, corrisponde un solo raggio riflesso.



Se chiamiamo **angolo di incidenza** θ_i l'angolo formato dal raggio e la normale alla superficie

e **angolo di riflessione** θ_r quello formato dalla normale e dal raggio riflesso,

la legge della riflessione speculare stabilisce che:

- 1) l'angolo di riflessione è uguale all'angolo di incidenza
- 2) raggio riflesso, raggio incidente e normale stanno nello stesso piano.

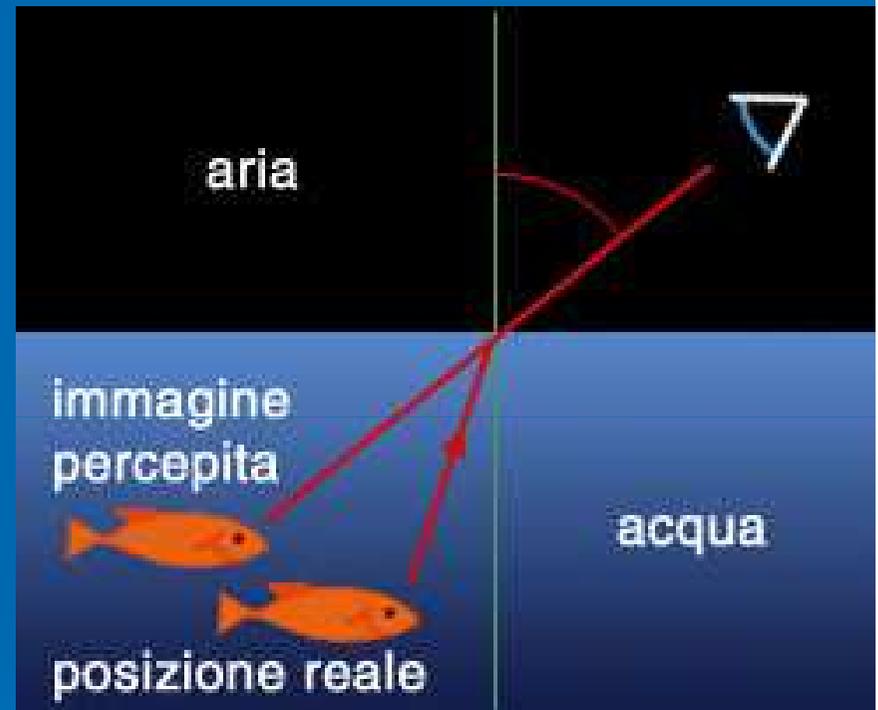
Rifrazione

Quando un raggio luminoso passa da un materiale ad un altro, la radiazione cambia direzione di propagazione : questo fenomeno si chiama **rifrazione**.

L'entità della deviazione dipende dalla differenza di **indice di rifrazione** tra i due materiali.

Proprio questa deviazione è la ragione per cui quando guardiamo in acqua vediamo gli oggetti spostati rispetto alla loro posizione reale e le aste sembrano spezzate.

L'indice di rifrazione di un materiale dipende alla lunghezza d'onda della radiazione, e questo provoca il fenomeno della dispersione.



Indice di rifrazione

L'indice di rifrazione n di un materiale è il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto (c) e la velocità della luce nel materiale stesso (v):

$$n = c / v$$

Tutti i materiali hanno un indice maggiore di 1 :

per l'aria vale **1.003**

per l'acqua **1.33**

per il diamante **2.42**

Questo valore altissimo consente a questo materiale le incredibili proprietà ottiche che lo contraddistinguono.

Assorbimento

- L'assorbimento è la capacità di un corpo di assorbire energia mediante onde elettromagnetiche (luce).
- Ogni mezzo ottico, dal vetro, all'acqua, allo smeraldo, etc. ha una propria capacità di *assorbimento*, riflessione e rifrazione della luce.
- L'assorbimento si realizza quando , posta una porzione di materia a contatto con radiazione elettromagnetica, essa è in grado di assorbire energia dalla radiazione stessa.
- L'assorbimento della radiazione provoca un aumento dell'energia interna della sostanza che assorbe.
- Secondo la meccanica quantistica, l'energia delle particelle costituenti la materia è quantizzata, può assumere solo certi valori discreti.
- Per una radiazione elettromagnetica l'energia è definita dalla relazione

$$E = h \cdot f$$

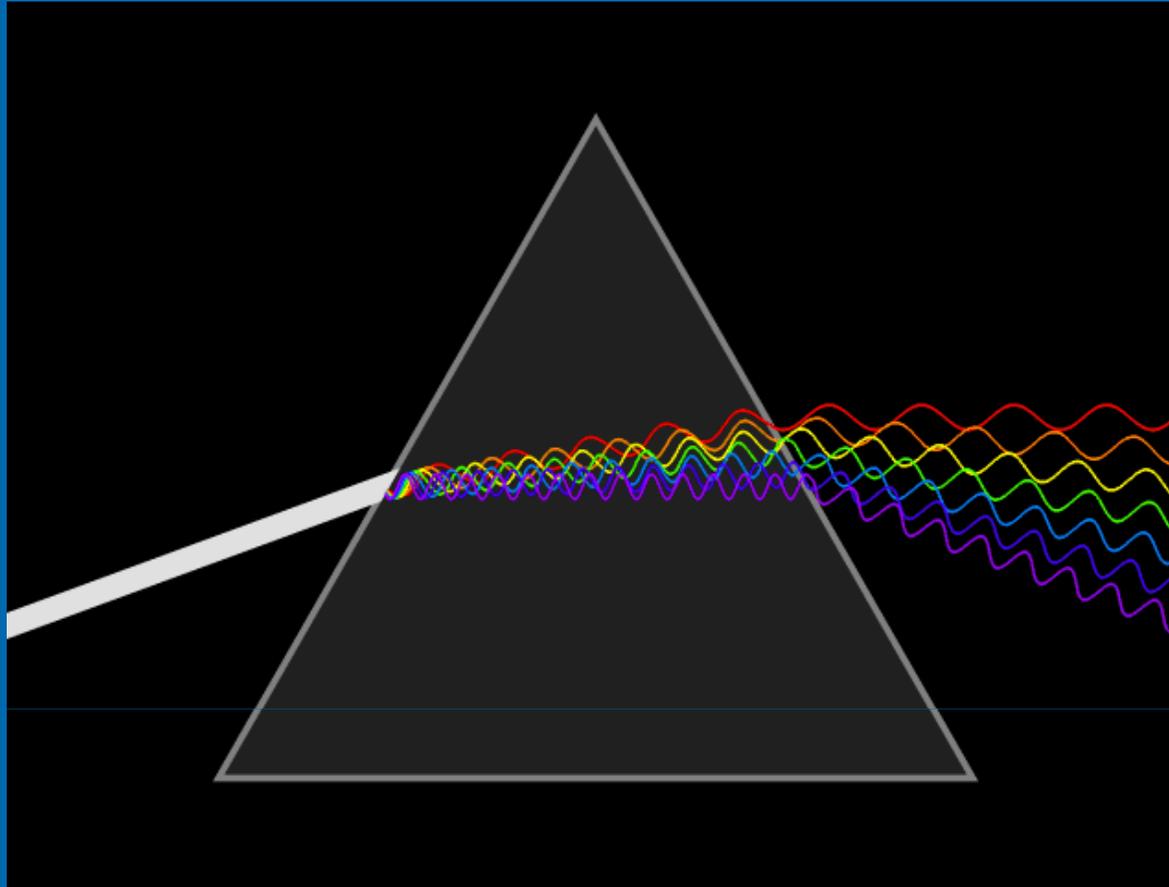
che discende dalla teoria dei quanti di Max Planck, dove f è la frequenza della radiazione elettromagnetica.

- In condizioni normali una particella si trova nello stato di **minima energia**.
- Se si considera per semplicità un elettrone, si deve pensare che questo può trovarsi in diversi livelli energetici e che per passare da un livello **E1** ad uno ad energia superiore **E2**, ha bisogno di assorbire una quantità di energia esattamente pari ad **E_{ass} = E2 - E1**.

- Quando una radiazione colpisce una particella, se l'energia dei fotoni è uguale alla differenza fra l'energia dello stato eccitato E_2 della particella e quella di uno stato fondamentale E_1 , la radiazione viene assorbita e la particella molecolare passa dallo stato fondamentale a quello eccitato.
- La capacità di un mezzo di assorbire la luce dipende dal materiale di cui è composto.
- Una porzione di materiale che assorbe la luce visibile è detta pigmento. Se esso assorbe tutta l'onda luminosa incidente apparirà nero, mentre se assorbe solo determinate lunghezze d'onda, apparirà dello stesso colore della radiazione che riflette.
- Per esempio il vetro lascia passare tutto lo spettro del visibile (**dai 7800 Å ai 3200 Å**) mentre assorbe i raggi UV e gli infrarossi lontani, mentre uno smeraldo rilascia la porzione di visibile intorno al verde.
- Poiché ad ogni sistema molecolare è associata una distribuzione caratteristica dei livelli energetici (**elettronici, vibrazionali, rotazionali**) l'assorbimento di una data radiazione è una proprietà caratteristica di quel sistema e non di altri .
- Ogni sistema ha perciò un suo spettro di assorbimento.

Dispersione ottica (cromatica)

- In ottica la **dispersione cromatica** è un fenomeno che causa la separazione di un'onda luminosa in componenti spettrali con diverse **lunghezze d'onda (colori)** a causa della dipendenza della velocità dell'onda dalla lunghezza d'onda.
- Può avvenire in ogni tipo di onda che interagisce con un mezzo o che può essere confinata in una guida d'onda, come le onde sonore.
Esistono in generale due sorgenti di dispersione:
 - ❖ **dispersione di materiale** , che deriva dal fatto che la risposta del materiale alle onde dipende dalla frequenza
 - ❖ **dispersione di guida d'onda** , che avviene quando la velocità dell'onda nella guida dipende dalla sua frequenza.
- I modi trasversi delle onde confinate in una guida d'onda finita in generale hanno velocità (e forme di campo) diverse, che dipendono dalla frequenza (ossia dalla dimensione relativa dell'onda, la lunghezza d'onda, rispetto alle dimensioni della guida).
- La dispersione in guide d'onda utilizzate per le telecomunicazioni comporta la degradazione del segnale, poiché il diverso ritardo con cui le differenti componenti spettrali giungono al ricevitore, "sporca" il segnale nel tempo.



Un fenomeno simile è la dispersione modale, causata dalla presenza di più modi di propagazione in una guida ad una data frequenza, ognuno dei quali presenta una velocità diversa.

La dispersione della luce nel vetro di un prisma è usata per costruire spettrometri e spettroradiometri.

Sono utilizzati anche reticoli olografici, poiché consentono una discriminazione più accurata delle lunghezze d'onda.

La dispersione nelle lenti produce l'aberrazione cromatica, un effetto indesiderato che può distorcere le immagini in microscopi, telescopi ed obiettivi fotografici.

Diffusione (Scattering)

In fisica la diffusione o scattering si riferisce ad un'ampia classe di fenomeni in cui una o più particelle vengono deflesse (ovvero cambiano traiettoria) per via della collisione con altre particelle.

In ottica ed in astrofisica di solito il fenomeno della dispersione è riferito all'effetto dispersivo della luce svolto da parte di oggetti macroscopici (come gli asteroidi) o microscopici come il pulviscolo o gli atomi che formano un gas.

Un esempio molto comune di scattering della luce è dato dal colore blu del cielo (nelle ore centrali del giorno) : la luce (bianca) del sole incide sull' alta atmosfera terrestre , la quale diffonde con più facilità le frequenze più alte (ovvero più vicine all'ultravioletto). Tale fenomeno è provocato dalle molecole dei gas presenti nell'alta atmosfera. Di conseguenza, mentre la luce bianca ci arriva direttamente se guardiamo dritti nel sole, la luce blu diffusa ci sembra provenire da tutte le direzioni.

Al tramonto , viceversa , essendo il Sole basso sull'orizzonte, la luce attraversa gli strati più bassi dell'atmosfera, pieni di polveri , le cui dimensioni fisiche determinano la diffusione dei colori di lunghezza d'onda più lunga ,cioè rosso e arancio.

Un altro esempio tipico è il colore bianco del latte o delle nuvole : in questo caso tutte le frequenze vengono diffuse uniformemente e, siccome il processo si ripete moltissime volte all'interno del mezzo, non è più riconoscibile la direzione di provenienza della luce ed il mezzo assume un colore bianco opaco.

Il processo di dispersione non include alcun tipo di assorbimento o emissione.

Diffrazione

- La diffrazione è un fenomeno tipicamente ondulatorio per il quale un'onda che attraversa una piccolissima fenditura o che supera lo spigolo vivo di un corpo, anziché procedere nella direzione iniziale, si propaga seguendo percorsi diversi.
- Perché la diffrazione sia evidente è necessario che le **dimensioni della fenditura siano paragonabili a quelle della lunghezza d'onda della radiazione incidente.**

Il fenomeno interessa qualunque tipo di onda, come il suono, le onde sismiche, la luce o qualunque altro tipo di radiazione elettromagnetica.

- A conferma della teoria ondulatoria della materia, inoltre, viene osservato anche nella propagazione di fasci di particelle, ad esempio di elettroni; secondo quanto sostiene la teoria, infatti, **a ogni particella è associata un'onda la cui lunghezza d'onda, detta "di de Broglie", è legata alla quantità di moto del corpuscolo.**
- Se si indirizza un fascio di luce contro un pannello su cui sia praticata una fenditura di dimensioni apprezzabili, uno schermo posto al di là del pannello raccoglie un'immagine relativamente nitida della fenditura, circondata da una zona d'ombra.
- Riducendo via via l'ampiezza della fenditura, l'immagine che si raccoglie sullo schermo non si restringe in modo proporzionale, ma si allarga e si offusca a causa del fenomeno della diffrazione.

Le onde luminose che incidono ai bordi della fessura, infatti, non proseguono in direzione rettilinea, ma invadono la zona d'ombra, deviando di un angolo che dipende dalla lunghezza d'onda e dalle dimensioni dell'ostacolo.

Detta D l'ampiezza della fenditura, L la distanza fenditura-schermo, λ la lunghezza d'onda della luce e D' l'ampiezza dell'immagine raccolta sullo schermo, si può assumere con buona approssimazione che:

$$D' \sim D + L(\lambda / D)$$

È evidente che, se l'ampiezza D della fenditura è molto grande rispetto alla lunghezza d'onda, il rapporto λ/D è molto piccolo e l'ampiezza dell'immagine della fenditura rimane pressoché uguale a quella reale.

Poiché la lunghezza d'onda della luce è dell'ordine dei 10^{-7} m, la diffrazione si può apprezzare soltanto su scala microscopica.

Il fenomeno si può spiegare alla luce del principio di Huygens-Fresnel dell'interferenza. Secondo tale principio, ogni punto di un fronte d'onda è sorgente di un'onda secondaria che si propaga in tutte le direzioni.

Così, nel caso della fenditura, ogni punto del fronte luminoso che si affaccia su di essa genera un'onda secondaria che si propaga in fase con la prima, andando a colpire lo schermo in punti normalmente in ombra.

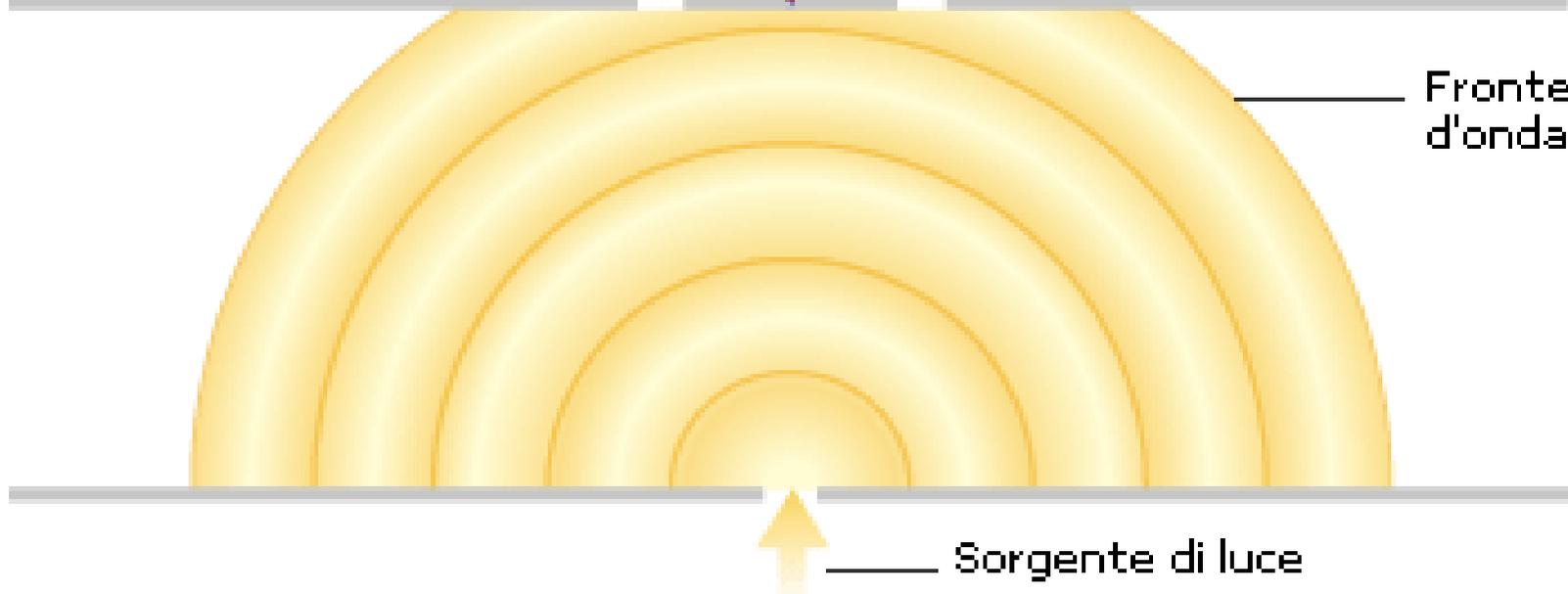
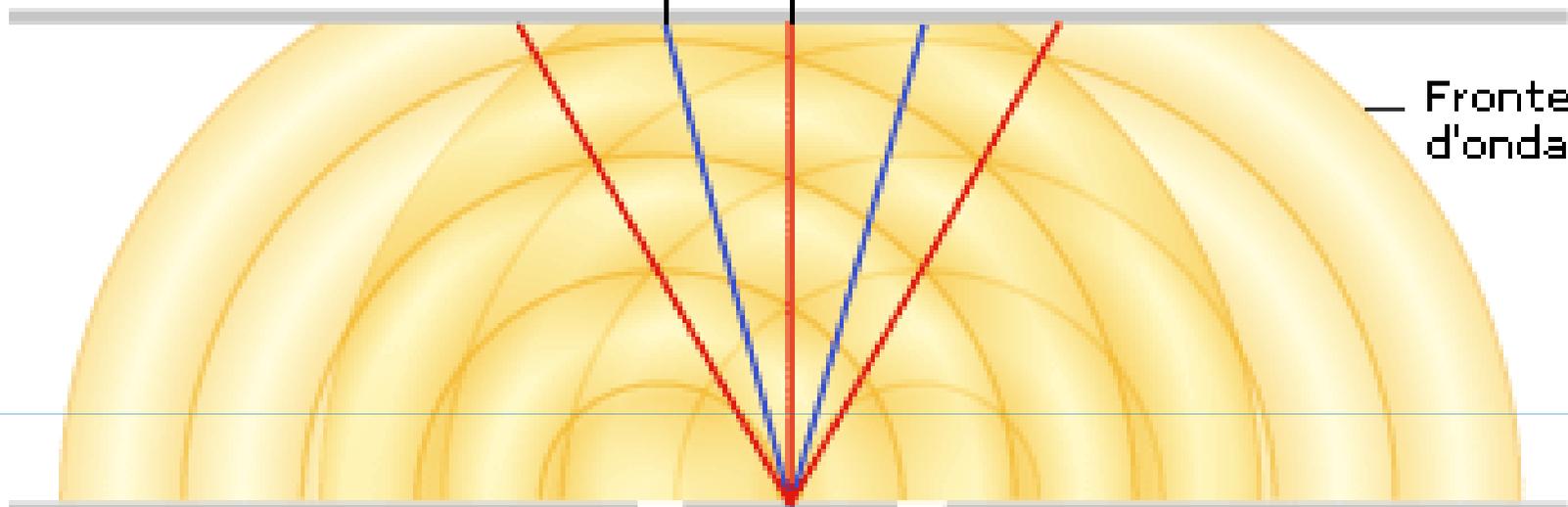
Come per l'interferenza, la sovrapposizione delle onde secondarie così generate produce una figura di diffrazione costituita da una successione di massimi e minimi più o meno intensi.

Diffrazione e interferenza della luce

- Quando un fascio luminoso attraversa una fenditura di dimensioni molto piccole, paragonabili alla lunghezza d'onda della luce, l'approssimazione geometrica non è più valida, e bisogna tenere conto degli effetti dei bordi della fenditura, che diventano a loro volta sorgenti di onde elementari, generando complessivamente un fronte d'onda sferico, fatto di numerose componenti elementari (diffrazione).
- Se la luce viene fatta passare attraverso una coppia di fenditure, i treni d'onda che si dipartono da ciascuna di esse si sovrappongono, dando luogo al fenomeno dell'interferenza: nei punti di sovrapposizione tra due creste d'onda l'intensità luminosa si somma producendo un massimo di luminosità (interferenza costruttiva); nei punti di sovrapposizione tra una cresta e un ventre, invece, l'intensità dell'una cancella quella dell'altra col risultato che sullo schermo si osserva un minimo di luminosità (interferenza distruttiva)

Interferenza distruttiva
(i fronti d'onda non si sovrappongono e generano una diminuzione di intensità luminosa)

Interferenza costruttiva
(i fronti d'onda si sovrappongono e generano un aumento di intensità luminosa)



Polarizzazione

Fenomeno ottico che riguarda la direzione di vibrazione del vettore campo elettrico di un'onda luminosa rispetto alla direzione di propagazione, e che consiste nella predominanza di una particolare direzione di vibrazione tra tutte quelle possibili.

Normalmente, la luce ordinaria risulta non polarizzata; può risultare, invece, parzialmente o totalmente polarizzata se il mezzo che essa attraversa è caratterizzato da proprietà ottiche opportune.

Il fenomeno, scoperto nel XVII secolo da Christiaan Huygens, trova applicazione, ad esempio, in fotografia, per la realizzazione di filtri e lenti antiriflesso, o in astronomia: l'analisi dello stato di polarizzazione della luce proveniente da astri lontani, infatti, fornisce informazioni sul mezzo interstellare attraversato e sulla sorgente da cui la luce proviene.

Ogni raggio luminoso, quindi, deve essere pensato come un treno di onde trasversali, le cui grandezze vibranti sono il campo elettrico e il campo magnetico.

Convenzionalmente, si definisce piano di vibrazione quello in cui oscilla il vettore campo elettrico, e piano di polarizzazione quello a esso perpendicolare, in cui oscilla il vettore campo magnetico.

Quando si studia un fenomeno ottico come quello della polarizzazione, si suole scomporre il vettore campo elettrico in due componenti, di cui una parallela e l'altra perpendicolare a una direzione significativa del sistema fisico analizzato.