

Relazione del laboratorio di ottica
a.a. 2005 - 2006

Ottica geometrica e ottica Fisica

Bina Michele

Bina Nicola

Capaci Luciano luciano.capaci@fiscali.it

Mittica Patrizia pamit@libero.it

Saliceti Simona simonasaliceti@libero.it

Ottica geometrica

L'ottica geometrica riguarda lo studio della luce allorché si propaga in linea retta o incontra ostacoli le cui dimensioni sono maggiori della lunghezza d'onda della luce. Questa parte è detta anche ottica dei raggi e comprende lo studio delle proprietà degli specchi e delle lenti.

Scomposizione della luce

Abbiamo osservato un fascio di luce bianca (quindi non monocromatica) che attraversava un prisma. Innanzitutto bisognava trovare l'angolo di incidenza giusto per osservare il raggio scomposto proiettato su uno schermo. Questo appariva bianco al centro con ai lati due bande colorate da una parte rossa dall'altra blu perché il prisma scomponendo la luce come ci aspettavamo, ma non essendo collimato prima di arrivare allo schermo si ricomponeva lasciando visibili solo gli estremi dello spettro (il rosso e il blu). Quindi abbiamo collimato il fascio con una fenditura, in questo modo è apparso tutto lo spettro visibile con i classici colori dell'arcobaleno.

Riflessione e rifrazione

Consideriamo un raggio luminoso, nel nostro caso il raggio laser, che incontra la superficie di separazione di due mezzi trasparenti diversi (nel nostro esperimento il plexiglas e l'aria).

L'esperienza mette in evidenza che il raggio incidente dà luogo a due raggi, di cui uno, chiamato raggio riflesso, ritorna nel primo mezzo, mentre l'altro, chiamato raggio rifratto, penetra nel secondo mezzo (plexiglas), ove però si propaga in una direzione diversa da quella del raggio incidente.

La riflessione avviene secondo le leggi di Snell:

1. il raggio incidente, la normale alla superficie riflettente nel punto di incidenza e il raggio riflesso giacciono nello stesso piano;
2. l'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

Si definisce angolo di rifrazione quello formato dal raggio rifratto con la normale alla superficie di separazione dei due mezzi nel punto di incidenza.

La rifrazione avviene rispettando le leggi di Snell:

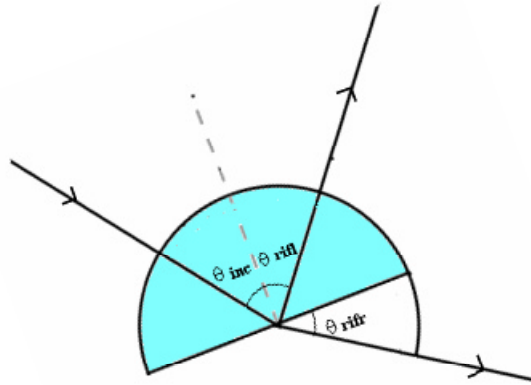
1. il raggio incidente, la normale alla superficie di separazione dei due mezzi nel punto di incidenza e il raggio rifratto giacciono nello stesso piano;
2. tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione esiste un rapporto costante al variare dell'angolo di incidenza, cioè:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}$$
, ove n_{12} , valore costante del rapporto, si definisce indice di rifrazione relativo del secondo mezzo rispetto al primo.

Poiché i raggi che si rifrangono da un mezzo più rifrangente ad un mezzo meno rifrangente si allontanano dalla normale, considerando successivamente raggi formanti con le rispettive normali angoli di incidenza via via crescenti, si perviene a un particolare raggio con un angolo di incidenza tale che il raggio rifratto emerge radente alla superficie di separazione dei due mezzi. L'angolo per il quale si osserva questo fenomeno è denominato angolo limite. Sperimentalmente si osserva che questo valore corrisponde ad un angolo di rifrazione di 90° circa, considerando un errore dipendente dalla misura sperimentale (es. la non omogeneità del plexiglas porta alla rifrazione in prossimità dell'angolo limite non un singolo raggio bensì un *fascio* di raggi largo 1 mm) e dalla sensibilità degli strumenti utilizzati (carta millimetrata).

Osservazioni

- L'angolo limite è quell'angolo di incidenza oltre il quale il raggio è totalmente riflesso e quindi di conseguenza l'energia del fascio è tutta nello stesso raggio: il fascio non è diviso tra fascio incidente riflesso e trasmesso ma è tutto riflesso, è per questo che certi riflessi danno più fastidio agli occhi, perché in essi è concentrata tutta l'energia (vedi sotto).



θ_{inc} (gradi)	Errore θ_{inc}	θ_{rifr} (gradi)	Errore θ_{rifr}
26	3	43	3
36	3	63	3
41	3	78	3
43	3	90	3

Come errore si è preso l'angolo, dal centro del plexiglas, sotteso dalla larghezza del raggio luminoso, misurato direttamente sulla carta millimetrata (3°gradi corrispondono a circa 5-6 mm sulla carta millimetrata).

Conoscendo la legge di Snell $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = \frac{n_2}{n_1}$ per la rifrazione, dalle misure si può ricavare l'indice di rifrazione n da cui il valore teorico dell'angolo limite.

Quando il primo mezzo ha un indice di rifrazione minore del secondo (ad esempio nel passaggio da aria a plexiglas), il raggio rifratto si avvicina dalla perpendicolare più del raggio incidente; viceversa se il primo mezzo ha un indice di rifrazione maggiore (ad esempio nel passaggio da plexiglas a aria).

Nel passaggio da plexiglas ad aria si ha:

n plexgal	1,48
n aria	1

La formula diventa quindi $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r} = 0.68$. Ma il seno di un angolo non può mai superare 1, quindi il

rapporto $\frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ non può essere 0.68 se $\text{sen } i$ è maggiore di 0.68, cioè se $i > 43^\circ$ circa. Oltre questo

angolo la rifrazione non può avvenire e il raggio viene riflesso completamente. Quindi l'angolo limite teorico è di 43° noi avevamo stimato un angolo dai 43° ai 50° : in questo intervallo non si osserva più il raggio uscire nettamente, ma si distingue una luminosità diffusa probabilmente

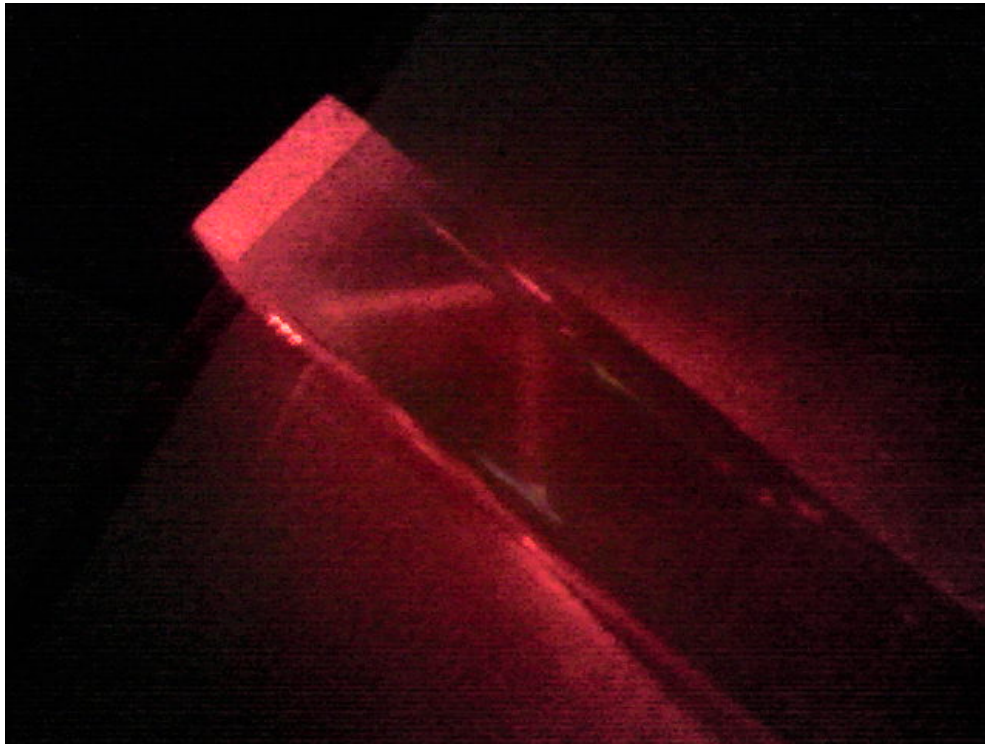
causata da riflessioni secondarie. Quindi L'angolo limite sperimentale e quello teorico sono compatibili. Inoltre dalle misure fatte risulta:

sen i		sen r	
0,44	0,05	0,68	0,05
0,59	0,05	0,89	0,05
0,66	0,05	0,98	0,05
0,68	0,05	1,00	0,05

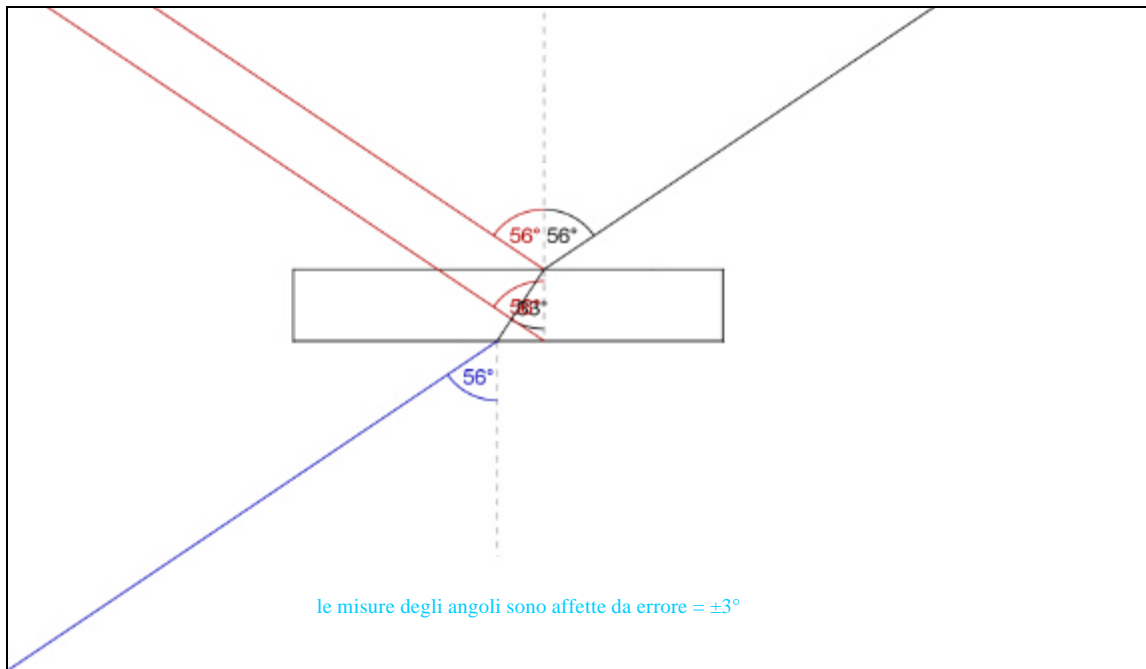
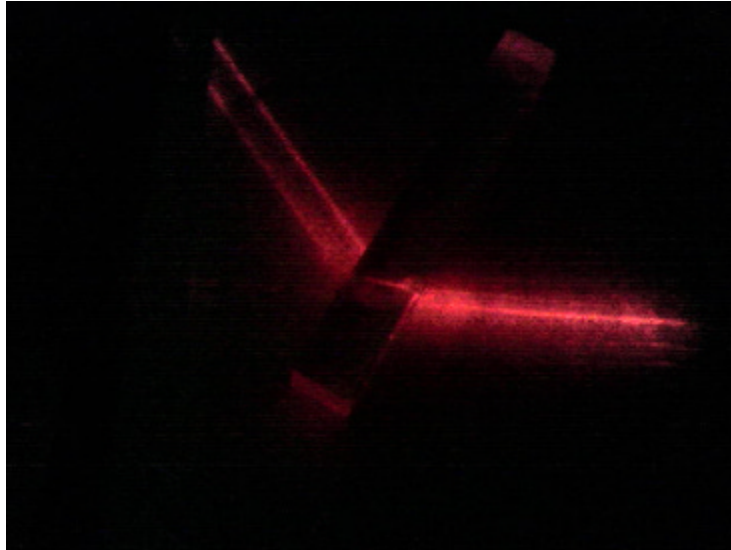
sen i / sen r	
0,64	0,13
0,66	0,10
0,67	0,09
0,68	0,09

Quindi n_{12} medio sperimentale è (0.66 ± 0.02) mentre quello teorico del plexiglas/aria è di 0.68, sono quindi valori combattibili.

- Applicazioni: la guida d'onda funziona con il principio dell'angolo limite, cioè è costruita in modo tale che il raggio che vi entra si rifletta sulle pareti della stessa con angolo maggiore dell'angolo limite. Per questo le fibre ottiche non perdono informazioni e l'onda a suo interno rimbalza senza uscirne.



Prisma in plexiglas raggi riflessi paralleli



Misura sperimentale degli angoli:

Angolo di incidenza : $56^\circ \pm 3^\circ$

Angolo primo raggio riflesso : $54^\circ \pm 3^\circ$

Angolo secondo raggio riflesso: $54^\circ \pm 3^\circ$

Angolo raggio rifratto nel passaggio aria-plexiglass: $33^\circ \pm 3^\circ$

Angolo raggio rifratto plexiglass-aria: $56^\circ \pm 3^\circ$

Consideriamo un prisma a facce piane e parallele di plexiglas di indice di rifrazione n_2 .

Consideriamo un raggio luminoso che incide con un angolo θ_i ; esso si rifrange avvicinandosi alla normale. Indichiamo con θ_r l'angolo di rifrazione.

Il raggio rifratto incontra la seconda faccia del prisma con un angolo di incidenza che è pure θ_r e quindi si rifrange nuovamente allontanandosi dalla normale. Indichiamo con θ_e l'angolo che il raggio emergente dal prisma forma con la normale n' nel punto A' .

Si ottiene che

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

$$n_2 \sin \theta_r = n_1 \sin \theta_e$$

e quindi :

$$\theta_i = \theta_e$$

cioè l'angolo con cui emerge il raggio è uguale all'angolo di incidenza θ_i . Ne segue perciò che il raggio emergente è parallelo al raggio incidente. Si può dimostrare che a parità di angolo di incidenza θ_i , lo spostamento subito dal raggio luminoso diminuisce con lo spessore attraversato.

Osservazioni di tipo didattico

A scuola si potrebbe proporre una versione "povera" e, quindi, più accessibile ma altrettanto accattivante con il semicerchio in plexiglas, del semplice polistirolo e degli spilli. Posizionando il plexiglas sulla base di polistirolo si usano gli spilli al posto del laser. Il primo spillo si posiziona al centro del cerchio descritto dal plexiglas (punto O) e il secondo nel punto a scelta in cui si ipotizza arrivi il raggio incidente.

Guardando attraverso il plexiglas dal lato piano, si posiziona il terzo spillo nel punto in cui si vedono sovrapporsi i primi due, quel punto, unito al centro, corrisponde al raggio rifratto e, se si osserva dal lato curvo, lo stesso spillo unito al punto O corrisponde al raggio riflesso.

Si può, quindi proporre agli studenti di spostare lo spillo corrispondente alla direzione del raggio incidente in modo tale da riprodurre l'esperimento con il laser e quindi trovare in questo modo l'angolo limite.

Ottica fisica

E' detta anche ottica ondulatoria, riguarda il passaggio della luce attraverso fori o fessure molto sottili, o attorno ad ostacoli le cui dimensioni siano paragonabili con la lunghezza d'onda della luce.

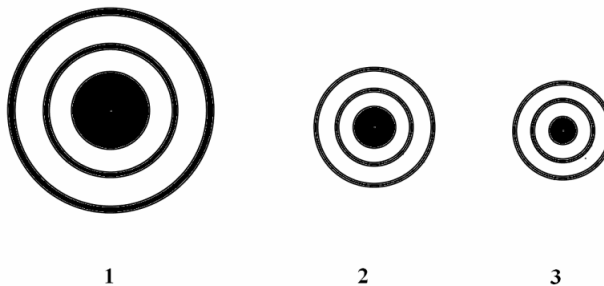
Interferenza

E' un fenomeno fisico che evidenzia la natura ondulatoria, oltre che corpuscolare, della luce.

Si formano figure di interferenza attraverso fenditure. Queste sono caratterizzate da zone di interferenza costruttiva, zone chiare, alternate da zone di interferenza distruttiva, zone scure.

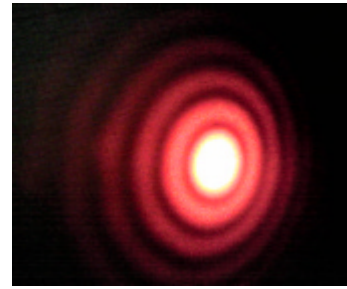
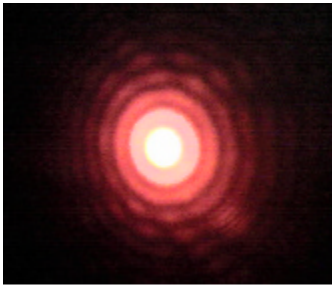
Diffrazione da Foro circolare

L'onda luminosa viene convogliata su una membrana avente tre fori di dimensioni crescenti. Si è notato che la diffrazione aumenta più diminuisce il diametro del foro che diventa confrontabile con la lunghezza d'onda del fotone. Questa esperienza mette quindi in evidenza la natura ondulatoria della luce. L'immagine sottostante rappresenta i tre diversi cerchi immagine formati in relazione al passaggio dell'onda luminosa nei tre diversi fori.



diametro cerchio ombra n. 1 circa 12 mm
diametro cerchio ombra n. 2 circa 8 mm
diametro cerchio ombra n. 3 circa 4 mm

Disco di Airy è la figura di diffrazione che si ottiene quando la luce attraversa un foro circolare: disco centrale luminoso e corone circolari chiare/scure alternate.



Le stelle doppie sono visibili solo se sono separati i loro dischi di Airy.

Fenditura a taglio o diffrazione di Fraunhofer

A fenditure verticali corrispondo immagini di interferenza orizzontali e viceversa.

Se poi la fenditura ha delle dimensioni limitate, cioè se è larga d e lunga b , dove b ha un valore paragonabile a quello di d , la struttura sopra descritta dell'immagine che si ottiene sullo schermo si ripete in entrambe le direzioni e si ottiene una immagine del tipo di quella indicata nella figura sottostante.