

# Relazione di fisica 4

Tagliaferri Jordi e Calva Alessio

Lab. di fisica 1

01-02/2021

## L'ottica e la luce

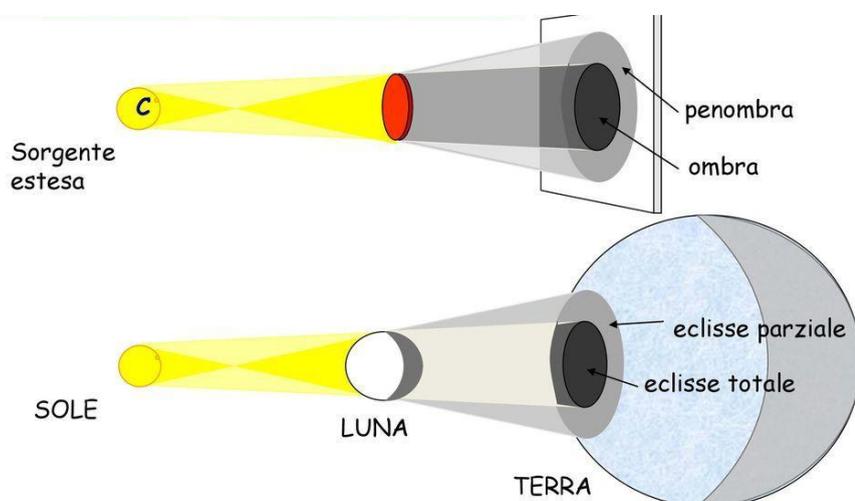
Verifica sperimentale della propagazione rettilinea, verifica sperimentale delle leggi di Cartesio-Snell sulla rifrazione e sulla riflessione

**Materiali:** Lavagna magnetica, treppiede, vite, pannello, morsa, goniometro (magnetizzato), laser raybox (emette più raggi laser), specchio piano (superficie riflettente), barra di plexiglas e lunetta di plexiglas.

### Premessa teorica:

L'ottica è una parte della fisica che si occupa dello studio della luce. Uno dei primi che studiò l'ottica fu *Alhazen*, un fisico arabo; Alhazen ipotizzò che qualcosa si riflette sugli oggetti e arriva ai nostri occhi, permettendoci di vedere quello che ci circonda, e contrastò la teoria più diffusa, che era quella per cui i nostri occhi inviassero qualcosa all'ambiente e che questo ritornasse ai nostri occhi permettendoci di vedere (questa teoria era conosciuta come *teoria dei bastoncelli*). Un altro grande scienziato che studiò l'ottica fu Isaac Newton, e pubblicò i suoi risultati nel 1700, nel libro "Opticks".

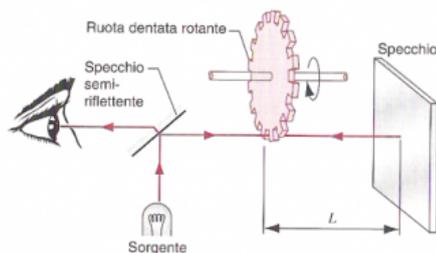
La legge della *propagazione rettilinea* afferma che nel vuoto la luce si propaga lungo linee rette. L'ombra dimostra la propagazione rettilinea, infatti l'*ombra* e la *penombra* sono una dimostrazione della propagazione rettilinea perché hanno la stessa forma dell'oggetto proprio perché la luce si propaga in linea retta.



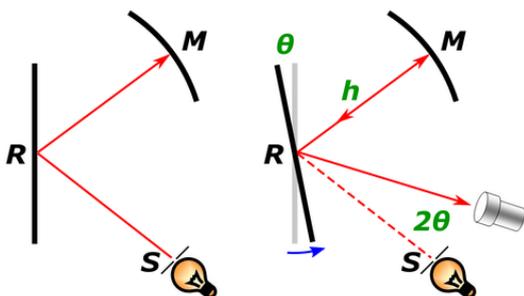
*Galileo Galilei* tentò di provare a misurare la velocità della luce; infatti, lui e il suo discepolo andarono su due colline (Galileo su una e il suo discepolo su un'altra) distanti 10

chilometri, con una lanterna ciascuno, e sopra le lanterne vi era un drappo nero; Galileo raccomandò al suo discepolo di scoprire il drappo dalla lanterna quando avesse visto l'altra lanterna, mentre Galileo cronometrava; però non riuscì a calcolare la velocità della luce ma solamente il tempo di reazione.

Il primo che riuscì a ricavare il valore della velocità della luce fu *Ole Romer*, un astronomo danese. Ole Romer, mentre studiava i *satelliti di Giove*, più precisamente stava misurando il periodo di rivoluzione di Io e per farlo misurava il periodo tra due eclissi; però notò che il periodo di rivoluzione di Io dipendeva dalla posizione della terra. Infatti, a quei tempi si pensava che la velocità della luce fosse infinita, e lui riuscì ad avere una prima stima (che era diversa da quella che conosciamo noi perché si avevano misure poco precise). *Hippolyte Fizeau* fu un fisico francese, riuscì ad avere una misura con *distanze terrestri* e si riuscì a calcolare la velocità della luce nei mezzi, però era *soggettiva*, non era abbastanza affidabile perché bisognava avere un buon occhio (e quindi una persona era posta dietro la superficie semi riflettente). Usò una ruota dentata che ruotava molto velocemente, una superficie semi argentata inclinata che rifletteva i raggi perpendicolarmente rispetto alla ruota, e dopo la ruota vi era uno specchio, se la ruota fosse stata abbastanza veloce la luce non sarebbe riuscita a tornare indietro proprio perché l'ingranaggio la bloccava.

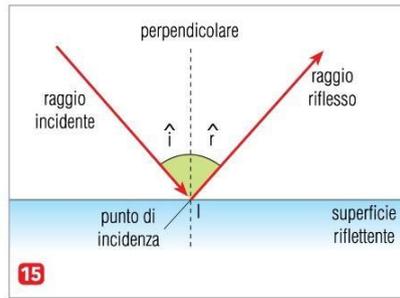
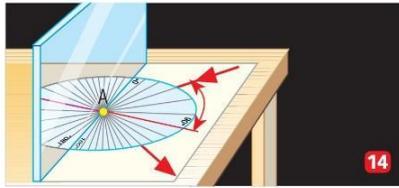
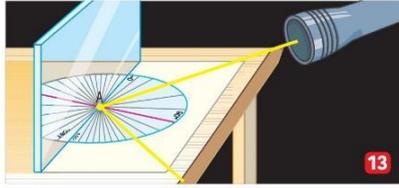


*Leon Foucault* riuscì a trovare una misura molto precisa, infatti utilizzò uno specchio ottagonale rotante, uno specchio e manda un raggio di luce allo specchio ottagonale, il raggio viene riflesso sullo specchio, che riflette a sua volta il raggio sullo specchio ottagonale (che si è spostato) ed è riuscito a trovare l'angolo tra il raggio incidente e il raggio riflesso.



Quando la luce raggiunge una superficie di separazione di due mezzi, parte del raggio torna nel primo mezzo; questo fenomeno è chiamato "*riflessione*". La prima legge della riflessione dice che il *raggio incidente* (cioè il raggio che incontra la superficie), il *raggio riflesso* (il raggio di luce che torna nel primo mezzo) e la *normale* (linea perpendicolare alla

superficie di separazione dei due mezzi) sono complanari (giacciono nello stesso piano). Invece la seconda legge della riflessione dice che *l'angolo di incidenza* (angolo tra la normale e il raggio di incidenza) è uguale *all'angolo di riflessione* (angolo tra la normale e il raggio riflesso).



Quando la luce passa da un primo mezzo ad un secondo mezzo non si ha solamente la riflessione ma si ha anche la *rifrazione*. La rifrazione è la deviazione del raggio di luce quando questo attraversa un secondo mezzo.

La prima legge della rifrazione dice che il raggio incidente, la normale e il *raggio rifratto* (il raggio di luce nel secondo mezzo) sono tra loro complanari. La seconda legge della rifrazione dice che il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e il seno dell'angolo di rifrazione è pari ad una costante, cioè l'indice di rifrazione ( $n_{21}$ ).

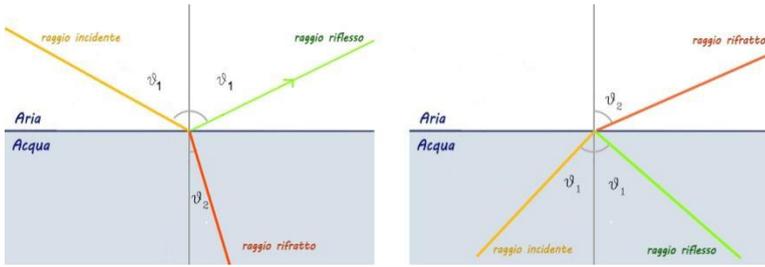
L'indice di rifrazione dipende dai due mezzi, e può essere *assoluto* o *relativo*: l'indice di rifrazione relativo è pari al rapporto tra l'indice di rifrazione assoluto del secondo mezzo e l'indice di rifrazione assoluto del primo mezzo; l'indice di rifrazione assoluto è l'indice di rifrazione relativo al vuoto.

Quando si hanno due mezzi, e il primo ha indice di rifrazione superiore rispetto al secondo, allora il primo mezzo è più *rifrangente* rispetto al secondo. Quando la luce passa da un mezzo meno rifrangente ad un mezzo più rifrangente il raggio rifratto si avvicina alla normale, quindi quando la luce passa da un mezzo più rifrangente ad un mezzo meno rifrangente il raggio rifratto si allontana dalla normale.

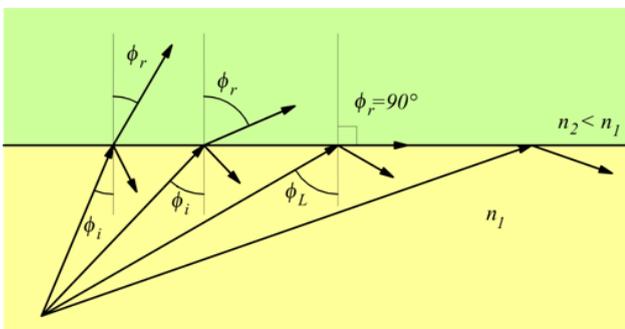
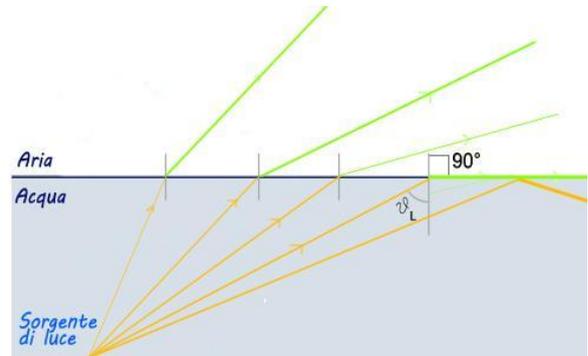
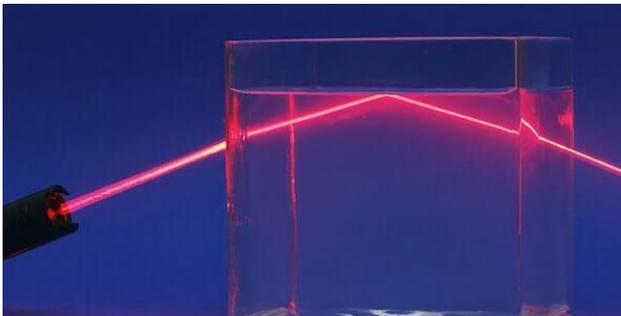
L'indice di rifrazione assoluto equivale anche al rapporto tra la *velocità della luce nel vuoto* e la *velocità della luce nel mezzo*.

$$n_{12} = \frac{c}{V} \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{c}{V_2} \times \frac{V_1}{c} \rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_1}{V_2}$$
; dove  $n$  è l'indice di rifrazione,  $C$  è la velocità della luce nel vuoto (che corrisponde a  $3 \times 10^8$ ) e  $V$  corrisponde alla velocità della luce nel mezzo. L'indice di rifrazione relativo a due mezzi è pari al rapporto tra la velocità della luce del

primo mezzo e la velocità della luce nel secondo mezzo.



Con un certo angolo di incidenza l'angolo di rifrazione può essere di  $90^\circ$ , quando quell'angolo di incidenza viene superato si ha solamente la riflessione, ed è chiamata *riflessione totale*; l'angolo di incidenza che forma un angolo di rifrazione pari a  $90^\circ$  è chiamato *angolo limite*.



Queste leggi della fisica trovano applicazione nella realtà attraverso alcuni strumenti, tra cui il *caleidoscopio*. Il caleidoscopio è formato da un tubo cilindrico (o di dimensioni simili)

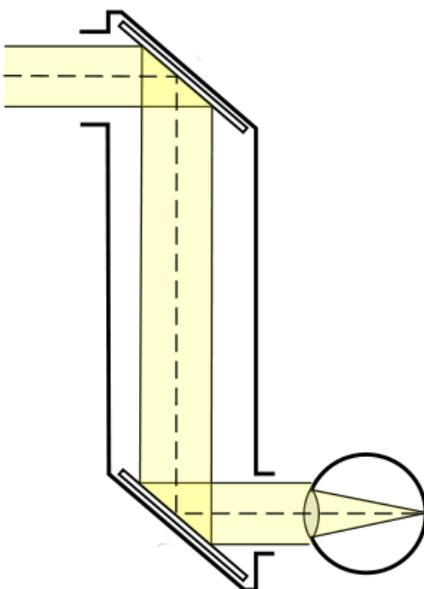
con al suo interno una serie di specchi con granelli colorati che vengono riflessi molteplici volte formando solitamente delle figure geometriche, dando vita a fenomeni luminosi.



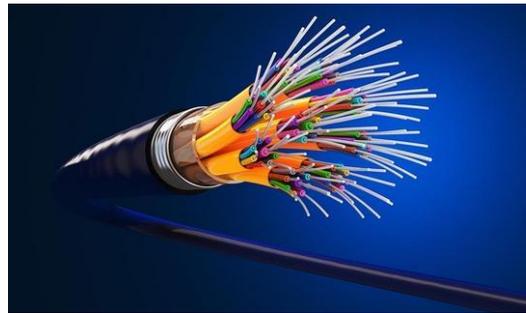
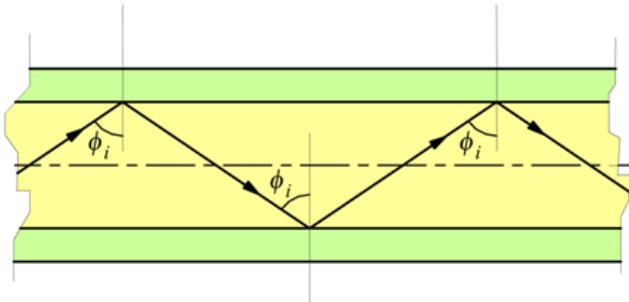
Un altro oggetto che sfrutta queste leggi è il *mirascopio*, che è formato da due specchi concavi, all'interno si pone un oggetto, la luce viene riflessa negli specchi curvi mostrandoci l'immagine all'esterno, formando un *miraggio*.



Inoltre, vi è anche il *periscopio*; questo oggetto è composto da un cilindro vuoto che alle sue estremità è curvato in direzioni opposte, all'interno vi sono due *prismi* di vetro (con un angolo retto e due di  $45^\circ$ ), la luce attraversa la parete del cilindro perché la parete è perpendicolare all'angolo di incidenza, poi il raggio viene riflesso completamente (perché l'angolo limite del vetro è  $36,8^\circ$ ) e passa attraverso la parete del prisma, e fa la medesima cosa con l'altro prisma permettendo all'osservatore di vedere dall'altra parte del periscopio.



Infine, un altro oggetto che sfrutta la riflessione totale come il periscopio è la *fibra ottica*. La fibra ottica è un filo *sottilissimo* formato da una *sostanza vetrosa* e da un isolante termico, essendo sottile è più *flessibile*; oltre ad essere flessibile è anche *super trasparente*, proprio per questa sua capacità si può far passare tre differenti raggi laser che non interferiscono tra loro e che si riflettono per chilometri utilizzando la riflessione totale. Le vibrazioni possono comunque rompere la fibra ottica, come accadde alla città di Brescia, perché più un materiale è trasparente più un materiale è fragile.



Il *polimetilmetacrilato* è chiamato più comunemente *plexiglas* è una plastica formata da polimeri, ed è molto usata perché è trasparente però è più elastica (cosicché si rompe meno facilmente del vetro, e quando si rompe non si frantuma) quindi ha un punto di rottura superiore a quello del vetro e ha un'ottima resistenza agli agenti atmosferici. Il polimetilmetacrilato è utilizzato per fabbricare moltissimi oggetti, dalle finestre agli arredi. L'*indice di rifrazione* del plexiglas è 1,49, ed il suo angolo limite è di circa  $42^\circ$ .



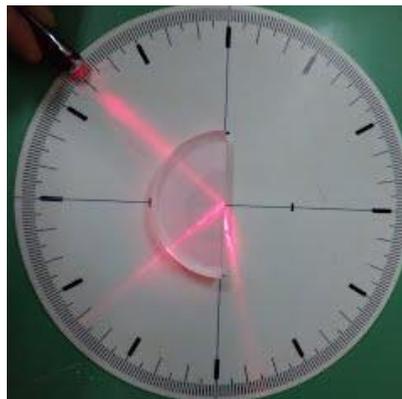
Lo *scarto percentuale* si calcola con la formula  $\frac{A-B}{A} \times 100$ . In questa esperienza di laboratorio lo useremo per verificare se il l'indice di rifrazione trovato con strumenti più precisi è simile a quello che abbiamo trovato noi. Quando lo scarto percentuale è inferiore al 20% l'esperienza è riuscita, se è superiore al 20% l'esperienza non è riuscita.

### **Esecuzione dell'esperienza:**

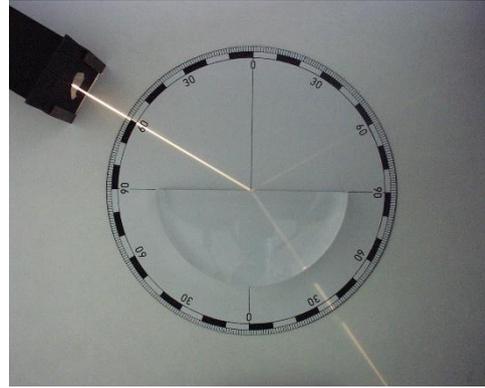
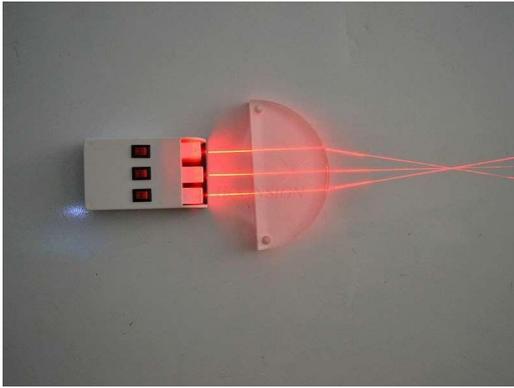
Per dimostrare la riflessione della luce abbiamo usato un laser raybox, attaccato magneticamente ad un pannello, che ci ha permesso di poter puntare un raggio laser contro una superficie piana e riflettente, permettendoci di osservare l'angolo di riflessione. La superficie riflettente era fissata al pannello magneticamente ed era posta esattamente sopra il centro del goniometro; sotto di essa vi abbiamo posizionato un goniometro stampato così da poter misurare gli angoli di incidenza e di rifrazione. Abbiamo puntato il raggio laser della raybox contro la superficie riflettente inclinata di  $45^\circ$  (che abbiamo

misurato con il goniometro) rispetto al raggio laser, misurando l'angolo che si formava tra il raggio riflesso e il raggio di incidenza era di  $90^\circ$ . Inoltre abbiamo misurato anche gli angoli tra la normale e il raggio di incidenza, e tra la normale e il raggio riflesso, che erano entrambi di  $45^\circ$ . Abbiamo inclinato la superficie riflettente a diverse angolazioni: prima a  $30^\circ$ , l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione erano entrambi di  $60^\circ$ . Poi l'abbiamo inclinata a  $60^\circ$ , l'angolo di incidenza e di riflessione erano di  $30^\circ$ . Abbiamo infine inclinato la superficie riflettente di  $10^\circ$ , l'angolo di incidenza e l'angolo di riflessione erano di  $80^\circ$ .

Possiamo affermare che l'esperimento è riuscito perché l'angolo di incidenza e l'angolo riflesso sono congruenti.



Invece, per dimostrare la legge sulla rifrazione abbiamo utilizzato il medesimo materiale della volta precedente fatta eccezione per la superficie riflettente, poiché abbiamo utilizzato delle barre di plexiglass al suo posto. Le due barre di plexiglas avevano la forma di un parallelepipedo e di una mezza luna. Per verificare la rifrazione abbiamo puntato il raggio laser della raybox contro il parallelepipedo di plexiglas, posizionato perpendicolarmente al raggio di incidenza e abbiamo notato che il raggio non subiva alcuna rifrazione, abbiamo potuto confermare che se l'angolo di incidenza è pari a 0 anche l'angolo di rifrazione è 0 (perché il seno di 0 è uguale a 0). Abbiamo anche notato che l'angolo di rifrazione sul goniometro non cambiava anche se inclinavamo la barra, ma subiva solamente un leggero spostamento; questo spostamento si può spiegare perché la rifrazione avviene solamente nella barra di plexiglas, poiché quando il raggio esce dalla barra di plexiglas subisce una nuova rifrazione e quindi si ha una doppia rifrazione. Infine, abbiamo utilizzato la lunetta (con la faccia piana rivolta frontalmente rispetto al raggio) e abbiamo notato che con la lunetta la seconda rifrazione era minima e quindi non tornava parallelo al primo raggio incidente. Abbiamo quindi trovato sperimentalmente alcuni angoli di rifrazione, ovviamente associati ai loro angoli di incidenza, da cui possiamo ricavare l'indice di rifrazione.



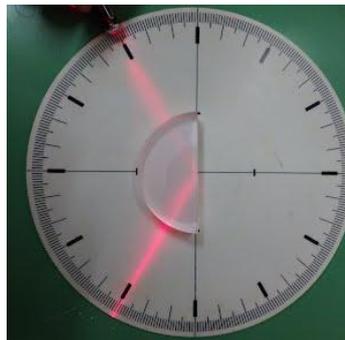
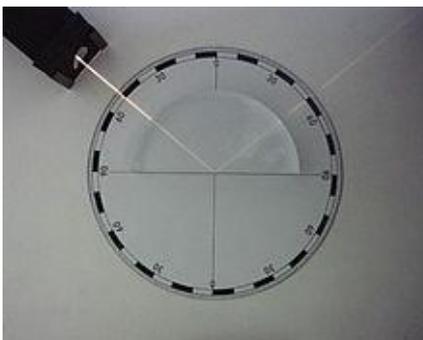
| Angolo di incidenza; $i$ [°] | Angolo di rifrazione; $R$ [°] | $\sin i$ | $\sin R$ | $n_{21}$ |
|------------------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|
| 15                           | 5                             | 0,26     | 0,09     | 2,97     |
| 30                           | 10                            | 0,5      | 0,17     | 2,88     |
| 45                           | 15                            | 0,74     | 0,26     | 2,73     |
| 60                           | 25                            | 0,87     | 0,42     | 2,05     |
| 75                           | 41                            | 0,97     | 0,66     | 1,47     |

La media degli indici di rifrazione è 2,42. L'indice di rifrazione del plexiglas è di 1,49.

Lo scarto percentuale è:  $[(a - b) / a] \times 100 = [(2,42 - 1,49) / 2,42] \times 100 = 38,43\%$

L'esperimento non è riuscito perché lo scarto percentuale è superiore al 20%.

Per dimostrare la riflessione totale abbiamo utilizzato la lunetta, però questa volta la faccia sporgente era rivolta frontalmente rispetto al raggio. Facendo passare il raggio per il centro della lunetta (quindi di una semicirconferenza vista nella sua proiezione orizzontale) l'angolo che si forma tra il raggio e la tangente che passa per il punto di incidenza è retto per il teorema sulla tangente. Abbiamo verificato che l'angolo limite si ha solamente da un mezzo più rifrangente ad un mezzo meno rifrangente perché la rifrazione avveniva sempre da aria a plexiglas; invece, da plexiglas ad aria quando l'angolo di incidenza era di  $43^\circ$  si ha una riflessione totale, possiamo quindi ipotizzare che l'angolo limite è di  $43^\circ$  (e corrisponde quasi esattamente con l'angolo limite trovato con valori più precisi). Con l'angolo limite possiamo trovare l'indice di rifrazione del plexiglas.



Con la formula:  $\frac{\sin \sin (\alpha \text{ lim})}{\sin \sin (90)} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow \frac{\sin \sin (\alpha \text{ lim})}{1} = \frac{n_2}{n_1}$ ; dove  $\alpha \text{ lim}$  è l'angolo limite, ed  $n$  è l'indice di rifrazione del primo mezzo

$$\frac{\sin \sin (43)}{\sin \sin (90)} = \frac{n_{\text{aria}}}{n_{\text{plexiglas}}} \rightarrow \frac{\sin \sin (43)}{1} = \frac{1}{n_{\text{plexiglas}}} \rightarrow n = \frac{1}{\sin \sin (43)} \rightarrow n = 1,47.$$

Lo scarto percentuale è:  $[(a - b) / a] \times 100 = [(1,49 - 1,47) / 1,49] \times 100 = 1,34\%$

L'esperimento si può considerare riuscito poiché lo scarto percentuale è nettamente inferiore al 20%.

Con l'indice di rifrazione del plexiglas possiamo trovare anche la velocità della luce nel plexiglas utilizzando la formula:

$$n = \frac{c}{V} \rightarrow V = \frac{c}{n} \rightarrow V = \frac{3 \times 10^8}{1,47} \rightarrow V = 2,04 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

La velocità della luce nel plexiglas utilizzando un indice di rifrazione pari a 1,49 è di:  $V = \frac{3 \times 10^8}{1,49} \rightarrow V = 2,01 \times 10^8 \frac{m}{s}$

Lo scarto percentuale è di:  $[(a - b) / a] \times 100 = [(2,04 \times 10^8 - 2,01 \times 10^8) / 2,04 \times 10^8] \times 100 = 1,47\%$ . Ed anche questo calcolo è verificato e riuscito.

### **Conclusioni:**

In conclusione, siamo riusciti a verificare la legge sulla riflessione e la legge sulla riflessione totale, ma non la legge sulla rifrazione poiché l'indice di rifrazione del plexiglas che abbiamo rilevato era troppo alto rispetto al valore trovato con strumenti più precisi. Inoltre, siamo riusciti a calcolare un valore più che accettabile dell'angolo limite tra plexiglas ed aria, ed anche il nostro indice di rifrazione del plexiglas (ricavato attraverso l'angolo limite) è molto simile a quello ricavato con strumenti più precisi. Infine, siamo riusciti a calcolare la velocità della luce nel plexiglas, con uno scarto percentuale (1,47%) molto inferiore rispetto a quello previsto (20%).