

Determinazione dell'indice di rifrazione di un materiale tramite misure di rifrazione

Marco Anni

1 Scopo dell'esperienza

Ci si propone di determinare l'indice di rifrazione di un materiale trasparente tramite misure di rifrazione e di verificare validità della Legge di Snell e della Legge dello spostamento laterale di un fascio di luce da parte di una lastra a facce piane e parallele.

2 Cenni teorici

Dati due mezzi trasparenti, omogenei e isotropi, separati da una superficie piana, su cui incida un raggio luminoso, la Legge di Snell lega l'angolo di incidenza i , formato dal raggio incidente con la normale alla superficie, all'angolo di rifrazione r , formato dal raggio rifratto con la normale alla superficie:

$$n_1 \operatorname{sen} i = n_2 \operatorname{sen} r \quad (1)$$

Dove n_1 e n_2 indicano l'indice di rifrazione assoluto del primo e del secondo mezzo, rispettivamente. Nel caso particolare in cui $n_1 > n_2$ è immediato dimostrare che la Legge di Snell può valere solo fino ad un angolo di incidenza massimo (detto *angolo limite*) in corrispondenza del quale $\operatorname{sen} r = 1$, e si ha:

$$\operatorname{sen} i_l = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} = \frac{1}{n_{12}} \quad (2)$$

Dove n_{12} indica l'indice di rifrazione relativo del mezzo 1 rispetto al mezzo 2. Per angoli di incidenza maggiori di i_l la rifrazione all'interfaccia 1-2 non è possibile, e la luce viene interamente riflessa (*riflessione totale*).

Nel caso in cui il corpo rifrangente sia una lastra a facce piane e parallele, di spessore T e indice di rifrazione n_2 , immersa in un materiale trasparente con indice di rifrazione n_1 , la doppia rifrazione all'ingresso e all'uscita della lastra comporta una deviazione laterale dei raggi, che emergono paralleli ai raggi incidenti.

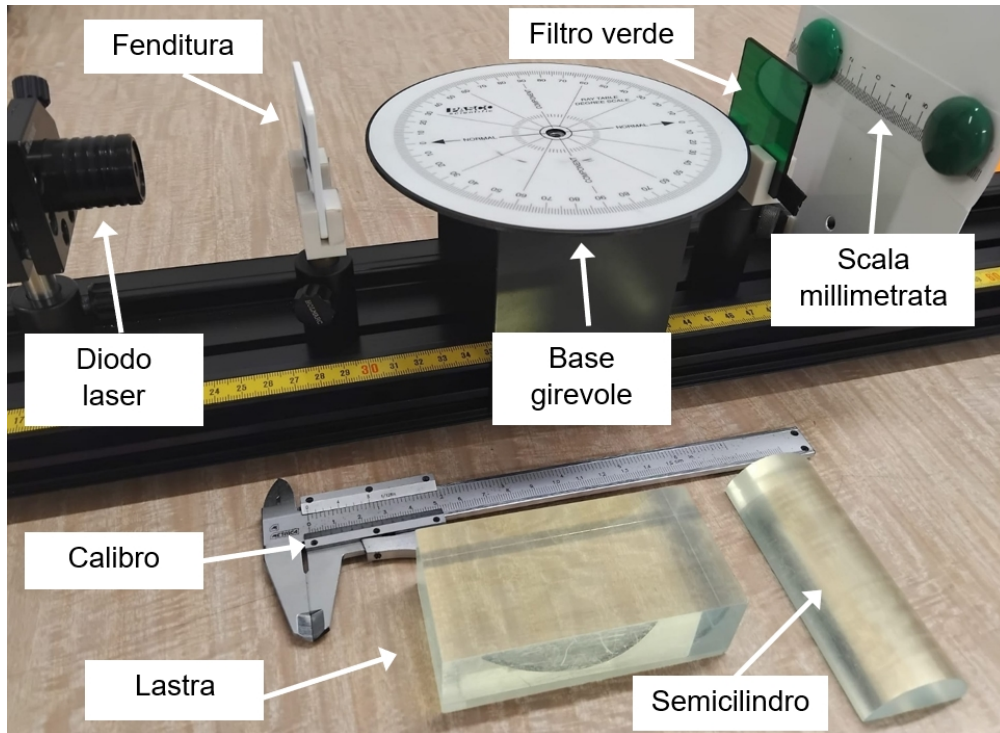


Figura 1: Fotografia dell'apparato sperimentale.

Lo spostamento laterale d è legato all'angolo di incidenza i , allo spessore T e all'indice di rifrazione del corpo rifrangente rispetto a quello del mezzo esterno n_{21} dalla relazione:

$$d = T \operatorname{sen} i \left(1 - \frac{\cos i}{\sqrt{n_{21}^2 - \operatorname{sen}^2 i}} \right) \quad (3)$$

Nel corso dell'esperimento la verifica della Legge di Snell e la condizione di riflessione totale saranno ottenute sfruttando la rifrazione tra plexiglass (mezzo 1) e aria (mezzo 2), pertanto le Equazioni 1 e 2 si possono riscrivere così:

$$n_p \operatorname{sen} i = n_a \operatorname{sen} r \Leftrightarrow \operatorname{sen} r = \frac{n_p}{n_a} \operatorname{sen} i \Leftrightarrow r = \operatorname{arcsen}(n_{pa} \operatorname{sen} i) \quad (4)$$

$$\operatorname{sen} i_l = \frac{1}{n_{pa}} \Leftrightarrow n_{pa} = \frac{1}{\operatorname{sen} i_l} \quad (5)$$

dove n_{pa} indica l'indice di rifrazione del plexiglass rispetto all'aria.

Nella Legge dello spostamento laterale invece si ha $n_{21} = n_{pa}$.

3 Strumentazione a disposizione

L'apparato sperimentale è costituito da (vedi Figura 1):

- un diodo laser con emissione nel rosso, come sorgente di luce direzionale;
- una fenditura rettangolare per diminuire la sezione del fascio luminoso;
- un semicilindro e un parallelepipedo in plexiglass, di cui determinare l'indice di rifrazione;
- una base goniometrica girevole;
- un filtro verde per attenuare il fascio luminoso;
- uno schermo con scala millimetrata, per misurare lo spostamento laterale;
- un calibro ventesimale per la misura diretta dello spessore della lastra.

4 Operazioni preliminari

Prima di iniziare l'acquisizione delle misure è necessario accertarsi che il fascio laser passi dall'asse di rotazione della base goniometrica. Ruotata la base in modo da avere la tacca 0° in corrispondenza della direzione di arrivo del fascio, si verifichi che il raggio sia lungo il diametro indicato con *NORMAL*, e quindi esca in corrispondenza della tacca 0° diametralmente opposta a quella di entrata, agendo se necessario sulle viti sul retro del supporto del laser per raggiungere tale configurazione.

5 Esecuzione dell'esperimento

5.1 Riflessione totale

Per poter osservare la riflessione totale è necessario studiare la rifrazione quando la luce, propagandosi nel plexiglass, raggiunge un'interfaccia piana plexiglass-aria. Dato che il diodo laser è, ovviamente, in aria, è anche necessario fare in modo che la luce non venga rifratta all'ingresso del corpo in plexiglass, ma solo all'uscita. Questa situazione si può ottenere utilizzando un semicilindro in plexiglass, posizionato in modo da far incidere la luce lungo un raggio della superficie curva (che, essendo ortogonale al piano tangente al semicilindro nel punto di incidenza, consente di non avere deviazione della luce in ingresso) e con la superficie piana in corrispondenza della direzione indicata con *COMPONENT* sulla base, lungo cui

si trovano le due tacche 90° . In tal modo la luce non viene deviata in ingresso e il punto di incidenza, trovandosi sull'asse di rotazione, rimane fisso durante la rotazione della base. Per allineare il fascio incidente lungo un raggio si posiziona la faccia piana del semicilindro lungo il diametro *COMPONENT*, e si sposta lateralmente il semicilindro fino a quando il raggio rifratto esce senza deviazione (quindi passando nuovamente dalla tacca 0°).

L'angolo limite si determina ruotando la base e osservando lo spostamento del raggio rifratto. All'aumentare dell'angolo di incidenza (che si può leggere direttamente sulla scala graduata dal lato di arrivo della luce) si noter  che il raggio rifratto (misurato sulla scala graduata dal lato di uscita della luce) si avvicina alla superficie piana (quindi avvicinandosi alla condizione $r = \pi/2$), per poi scomparire. L'angolo limite   pari all'angolo di incidenza minimo che consente la riflessione totale. Nel corso di queste misure e delle successive,   possibile determinare i anche sfruttando la riflessione all'interfaccia plexiglass-aria. In particolare, considerato che all'interfaccia plexiglass-aria la luce viene almeno in parte sempre riflessa specularmente   possibile determinare i tenendo conto che il fascio riflesso forma con quello incidente un angolo pari a $2i$. Si suggerisce pertanto di misurare i_i non solo direttamente, ma anche come la met  dell'angolo tra raggio incidente e raggio riflesso quando si raggiunge la condizione di riflessione totale (ponendosi auspicabilmente il problema di capire l'origine di eventuali differenze tra i due valori ottenuti).

Infine, si ripeta la misura ruotando la base in verso opposto e si calcoli l'angolo limite come media dei due valori ottenuti.

5.2 Legge di Snell

Per determinare la dipendenza dell'angolo di rifrazione dall'angolo di incidenza si ruota la base, partendo dallo 0 , per variare i , e si misura il corrispondente valore di r . Si raccomanda di misurare nel pi  ampio intervallo di valori di i , limitato superiormente da i_{lim} e, per estendere il numero di punti, di eseguire le misure sia per rotazioni orarie che per rotazioni antiorarie (assegnando in uno dei due versi valori negativi a i e r). Come prima si suggerisce di determinare i valori di i sia direttamente che come la met  dell'angolo tra raggio incidente e raggio riflesso.

5.3 Spostamento laterale

Si posiziona la lastra in modo che la faccia di entrata si trovi lungo il diametro 90° - 270° , accertandosi che sia perpendicolare alla direzione di incidenza dei raggi per $i=0$ osservando il raggio uscente (che dovr  passare dallo 0 diametralmente opposto).

In tale configurazione si sposti la scala millimetrata sullo schermo, in modo da allinearne lo 0 al punto di arrivo dei raggi non deviati. Per poter apprezzare meglio lo spostamento laterale, e per misurare nel più ampio intervallo possibile di valori di i (in questo caso esiste la possibilità di riflessione totale? Perché?) si noti che non tutte le orientazioni del parallelepipedo sono equivalenti, e si determini quella che si ritiene ottimale, giustificando la scelta. Come in precedenza si effettuino le misure sia in verso orario che antiorario. Al crescere di i si osserverà che il fascio uscente si allarga. In tale condizioni lo spostamento laterale sarà misurato dalla posizione del punto centrale del fascio.

6 Analisi dati

La determinazione del valore di n_{pa} dal valore di i_l si effettua direttamente dall'Equazione 2. La verifica sperimentale della validità della Legge di Snell e della Legge dello spostamento laterale richiede invece l'adattamento nel senso dei minimi quadrati dei valori sperimentali di r e di d agli andamenti previsti dalle Equazioni 1 e 3, rispettivamente.

Qualora l'adattamento sia soddisfacente si discuta la compatibilità statistica delle varie stime di n_{pa} , e dello spessore di best-fit con quello misurato direttamente.