



Proprietà ottiche della materia: i dielettrici

Prerequisiti:

Leggi della riflessione e della rifrazione, funzioni trigonometriche, polarizzazione, errore di misura, rappresentazione grafica dei dati.

Per caratterizzare le proprietà ottiche dei materiali trasparenti abbiamo realizzato due tipi di esperimenti, la misura dell'indice di rifrazione e la misura del potere rotatorio specifico di una sostanza.

1. Misurazione dell'indice di rifrazione

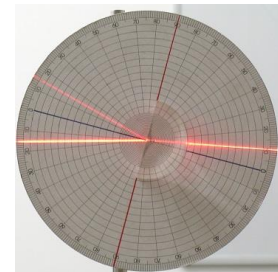
Oggi utilizzeremo un apparato chiamato disco di Hartle. Consiste di un semicilindro di materiale trasparente (dielettrico) incollato al centro di un goniometro. Un fascio laser espanso in direzione verticale lascia una traccia del percorso della luce sul goniometro, sia prima di incidere sul semicilindro sia dopo che è stato riflesso e rifratto. Il raggio subisce una deviazione attraversando la superficie piana, ma non attraversando la superficie curva (capite perché?) e quindi possiamo comodamente leggere sul goniometro gli angoli di incidenza, di riflessione e di rifrazione indicati dal percorso stesso dei raggi luminosi.

L'apparato può essere utilizzato per misurare l'indice di rifrazione in tre modi diversi:

- 1.1. Tramite la verifica della legge di Snell
- 1.2. Tramite la misura dell'angolo limite
- 1.3. Tramite la misura dell'angolo di Brewster.

1.1 La legge di Snell afferma che

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_p}{n_a} \cong n_p$$



Dove n_p è l'indice di rifrazione della plastica e n_a è l'indice di rifrazione dell'aria che è quasi uguale a 1. Per verificare la legge ruotare il goniometro in modo che la luce incida sulla faccia piana del semicilindro e l'angolo di incidenza abbia i valori in tabella; quindi misurate gli angoli di rifrazione e calcolate il rapporto nei tre casi. Il rapporto dovrebbe essere sempre lo stesso entro degli errori (sapreste calcolarli?)

i (°)	$\sin i$	R	$\sin r$	n
30				
45				
60				

1.2 Misura dell'angolo limite

Se giriamo il disco di Hartle in modo che la luce incida sulla faccia curva del semicilindro, il raggio proseguirà dritto al centro del disco e la rifrazione sulla faccia piana del semicilindro sarà da plastica ad aria, con uno scambio di ruoli fra i ed r nella formula di Snell

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_a}{n_p} \cong \frac{1}{n_p}$$

Il raggio rifratto r forma adesso un angolo maggiore di quello incidente i . All'aumentare dell'angolo di incidenza i l'angolo di rifrazione r raggiunge infine i 90 gradi e poi scompare: per ulteriori aumenti dell'angolo di incidenza il raggio sarà completamente rifratto. Questo fenomeno si chiama riflessione totale e l'angolo per cui $r=90$ gradi si chiama angolo limite. Provate a misurare l'angolo limite e a ricavare l'indice di rifrazione dalla formula di Snell.

i (°)	n

1.3 Misura dell'angolo di Brewster

Ruotiamo di 180 gradi il disco e torniamo nelle condizioni in cui il raggio incide sulla faccia piana del semicilindro provenendo dall'aria. L'angolo di Brewster è quell'angolo di incidenza per cui il raggio riflesso e quello rifratto formano un angolo retto. Si verifica anche che in questa condizione il raggio riflesso è completamente polarizzato. Potete verificare che il raggio è completamente polarizzato mettendo un polaroid subito dopo il laser. Troverete un angolo in cui il polaroid attenua sia il raggio riflesso che quello rifratto (perché il laser stesso è un po' polarizzato) e una posizione del polaroid in cui il raggio riflesso viene soppresso completamente ma quello rifratto non viene alterato.

L'indice di rifrazione è connesso all'angolo di Brewster θ_B dalla formula

$$\tan \theta_B = n$$

θ_B (°)	n

Domanda: quale dei tre metodi vi è sembrato avere un errore maggiore? E quale l'errore più piccolo?

2. Potere rotatorio di una sostanza zuccherina

L'attività ha lo scopo di evidenziare la proprietà di alcune sostanze, dette otticamente attive, che hanno la capacità di ruotare il piano di polarizzazione della luce. Nel caso di luce polarizzata linearmente il fenomeno consiste nella rotazione del piano di polarizzazione in uscita dalla soluzione rispetto a quello in entrata. La rotazione avviene attorno alla direzione di propagazione, in verso orario per sostanze destrorgire come il glucosio, oppure in verso antiorario per le sostanze levogire come il fruttosio.

Misure dell'angolo di rotazione del piano di polarizzazione vengono ampiamente usate (nella tecnica polarimetrica) per determinare la concentrazione delle soluzioni ed in particolare (come nel caso dell'esperimento di oggi) delle soluzioni di zuccheri.

L'ampiezza della rotazione dipende dal potere rotatorio della molecola otticamente attiva in soluzione e dal numero di molecole con le quali il fascio di luce interagisce. Il numero di molecole a sua volta dipende dalla concentrazione della soluzione e dalla lunghezza del cammino della luce nella soluzione.

Altri parametri da cui essa dipende sono la temperatura (T) e la lunghezza d'onda della luce (λ). Nell'esperimento di oggi tali valori saranno costanti, eseguiremo misure con luce monocromatica prodotta da un laser a stato solido ($\lambda=650$ nm) a temperatura ambiente ($T=20^\circ\text{C}$).

Nelle determinazioni polarimetriche il potere rotatorio specifico di una sostanza viene definito nel modo seguente:

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\theta - \theta_0}{l \cdot c} \text{ (solvente)} \quad (1)$$

dove

- $\theta - \theta_0$ rappresenta l'angolo di rotazione del piano di polarizzazione della luce, misurato in gradi sessagesimali ;
- l è la lunghezza del percorso ottico nella soluzione (lunghezza interna del tubo), misurato in decimetri;
- c è la concentrazione in g/100ml della sostanza otticamente attiva sciolta nel solvente specificato.
- $[\alpha]_{\lambda}^T$ indica il potere rotatorio specifico (PRS) alla temperatura T e per luce di lunghezza d'onda λ ; il valore di riferimento standard $[\alpha]_D^{20}$ rappresenta la rotazione del piano di polarizzazione della luce che passa attraverso 1dm di soluzione con concentrazione pari a 1 g/100ml di sostanza otticamente attiva, alla temperatura (T) di 20°C e utilizzando luce con lunghezza d'onda pari a 589 nm (linea D del sodio).

Ammettendo che, per concentrazioni non troppo elevate, il numero di molecole con le quali il fascio interagisce sia proporzionale alla concentrazione stessa ed alla lunghezza del cammino ottico, il potere rotatorio specifico costituisce una proprietà intrinseca della molecola in soluzione (dipendente dalla temperatura e dalla lunghezza d'onda della luce).

Viceversa, noto il potere rotatorio di una certa molecola, si può ricavare la concentrazione in funzione dell'angolo di rotazione :

$$c = \frac{\theta - \theta_0}{l \cdot [\alpha]_{\lambda}^T} \quad (2)$$

Tale relazione permette di risalire alla concentrazione dalla misura dell'angolo di rotazione.

Operativamente cosa si deve fare?

- 1) **Allineare con attenzione il laser**, raccogliendo la luce su uno schermo (il sistema ottico dovrebbe essere già allineato);
- 2) **Ruotare il polarizzatore** fino ad ottenere il minimo di intensità della luce raccolta sullo schermo;
- 3) **Annotare il valore di questo angolo** (θ_0) nello spazio prima della tabella. Questo valore sarà il riferimento rispetto al quale valutare la rotazione del piano di polarizzazione. Attenzione perché si possono misurare due valori di minimo che differiscono di 180 gradi. Si consiglia di prendere sempre il valore compreso tra 0 e 180gradi.
- 4) **Inserire sul percorso della luce del laser il tubo in plastica** contenente la soluzione trasparente ad una certa concentrazione, facendo attenzione che la luce esca dal fondo e arrivi sullo schermo;

- 5) **Ruotare il polarizzatore in senso antiorario**, annotando in tabella il nuovo valore dell'angolo θ per cui la luce ha intensità minima (se ruotate il polarizzatore in senso orario riuscirete a minimizzare la luce, ma gli angoli saranno maggiorati di 180°);
- 6) **La differenza tra i due valori rappresenta l'angolo di rotazione dovuto alla soluzione;**
- 7) **Riportare su un grafico** (taratura) i valori dell'angolo di rotazione delle varie soluzioni in funzione della concentrazione nota (vedi tabella).
- 8) **Determinare dal grafico** sia il valore del potere rotatorio specifico della sostanza $[\alpha]_{\lambda}^T$ sia il valore della concentrazione incognita di due soluzioni di cui è stato misurato il potere rotatorio.
- 9) Come procedura alternativa potete **determinare numericamente** sia il **potere rotatorio specifico** della sostanza zuccherina misurata che **le concentrazioni incognite**: calcolate la media dei valori di α nell'ultima colonna $\alpha_m = \text{alfa medio}$, quindi utilizzate il valore di α_m per calcolare le concentrazioni incognite utilizzando la formula (2). Trovate una differenza tra i valori determinati nei due modi? Discutere il risultato.

Dati iniziali:

Angolo θ_0 per cui si ha il minimo della luce del laser sullo schermo: _____ gradi

Lunghezza l del cammino ottico nella soluzione (l interno tubo): _____ dm

N. tubo	c (g/100ml)	θ ($^\circ$)	$\theta - \theta_0$ ($^\circ$)	$[\alpha]_{650}^{20}$
1	15			
2	2,5			
3	0			
4	20			
5	10			
6	12,5			
7	24,8			
8				
9				
10	17,5			