

SCHEMA 05. Legge di Snell e misura dell'indice di Rifrazione

Finalità		Deviazione della luce all'interfaccia tra mezzi diversi (diottro). Riflessione/rifrazione parziale. Misura degli angoli di incidenza e rifrazione, Verifica della complanarità tra raggio incidente, riflesso, rifratto e la normale alla superficie del diottro Derivazione/verifica della legge di Snell, Confronto dei risultati con l'ipotesi di Tolomeo (legge quadratica)			
Adatto a tutte le classi?	Realizzabile dagli studenti?	Compito a casa?	N. Minimo persone	Dimostrativo ? (tempo, h)	Quantitativo ? (tempo, h)
Si [1]	Si	Si	2	15'	1h
Strumentazione/materiale		<ul style="list-style-type: none"> • Vaschetta trasparente con almeno una faccia piana • Acqua in quantità sufficiente a riempire la vaschetta • Nebulizzatore [2] • Un cucchiaino di calce o latte in polvere • Puntatore Laser di bassa potenza (1mW) [3] • Goniometro • Macchina fotografica o telefono cellulare con fotocamera 			
Supporti informatici suggeriti		<ul style="list-style-type: none"> • Computer con software di visualizzazione delle foto per la misura degli angoli dalle immagini. • Eventualmente un software per la misura di angoli [4]. • Foglio elettronico (Excel - MS o Calc -Oo, o equivalente) per il trattamento dei dati e i grafici. 			
Note		<ol style="list-style-type: none"> 1. Sono richieste nozioni base di trigonometria: seno 2. Come nebulizzatore si può usare una sigaretta elettronica, un pulitore a vapore, polvere del cancellino, spruzzatore, etc... 3. Utilizzare un puntatore laser di bassa potenza come i laser rossi da porta chiave (λ circa 630 nm, potenza circa 1mW): i laser verdi o blu che si possono trovare in commercio <u>sono estremamente pericolosi</u>. Informare gli studenti sui rischi di un laser, sia pur di bassa potenza. 4. Es. il software Tracker [www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker] consente di visualizzare e misurare gli angoli dalle immagini senza ricorrere al goniometro. <ul style="list-style-type: none"> - Prestare attenzione agli errori di parallasse nella determinazione degli angoli. - Non è facile trovare delle vaschette profonde a forma di parallelepipedo, spesso hanno pareti spesse o stondate. E' possibile utilizzare vaschette meno profonde osservando il fenomeno dall'alto e trascurando l'effetto delle pareti, se queste sono abbastanza sottili (vedi schede 12-14) 			
Autore		<i>Carlo Meneghini</i> carlo.meneghini@unoroma3.it <i>Monica Bionducci</i> m.bionducci@gmail.com			

Termini e condizioni

Il presente materiale è stato realizzato dai autori con il supporto del dipartimento di Scienze, Università Roma TRE, nell'ambito del progetto LS-OSA (Finanziamento MIUR). L'utente si impegna a rispettare le clausole specificate nella sezione *Termini E Condizioni* della piattaforma LS-OSA. In particolare le:

Condizioni di utilizzo da parte degli utenti:

L'Utente è consapevole di poter utilizzare il materiale unicamente per scopi didattici. La vendita, la concessione in licenza, la distribuzione, la riproduzione parziale o totale dei materiali pubblicati senza l'espressa e preventiva autorizzazione dell'Autore e/o Dipartimento di Scienze, comporta la violazione della legge sul diritto d'autore.

Svolgimento

Realizzazione

Riempire la vaschetta con acqua e aggiungere un cucchiaino di latte (o calce) poco a poco per evitare di intorbidire troppo il liquido. La quantità dipende dal volume della vaschetta. Riempire il recipiente fino al bordo per consentire di osservare bene in prossimità del pelo dell'acqua. Usando i vapori prodotti da un nebulizzatore (o da una sigaretta elettronica, polvere di un cancellino, vaporizzatore per aerosol, etc...) si può mostrare la traiettoria del raggio laser nel passare dall'aria all'acqua.

Effettuare le osservazioni il più possibile perpendicolarmente al piano di rifrazione e parallelamente alla superficie dell'acqua. E' sicuramente utile usare una macchina fotografica (es. un cellulare) meglio ancora in modalità ripresa. Si possono poi misurare gli angoli dalle stampe di fotogrammi selezionati, sullo schermo di un PC o ponendo il cellulare con la foto su un foglio e disegnando i raggi con l'aiuto di una squadretta (vedi foto).

Osservazioni

Verificare che la luce devia nel passare dall'aria all'acqua avvicinandosi alla normale alla superficie quando si trova nell'acqua.

Osservare come i raggi di luce siano parzialmente riflessi e parzialmente trasmessi (coefficienti di riflessione e trasmissione)

Verificare che raggio incidente, rifratto e riflesso sono sempre complanari (es. usare un cartoncino o una squadretta o un goniometro).

Raccogliere una serie di misure di angoli di incidenza in aria (θ_i) e rifrazione in acqua (θ_r). Si possono determinare le misure degli angoli in modo semplice poggiando il cellulare su un foglio e tracciando i prolungamenti dei raggi come mostrato in figura. Quindi si misurano gli angoli rispetto alla normale (o rispetto alla superficie dell'acqua calcolando poi i complementari). Meglio ancora se si hanno a disposizione delle stampe ingrandite: la misura è più precisa. Attenzione a non deformare le immagini sul PC. Ancora meglio sarebbe utilizzare un software per il trattamento delle immagini o un programma di analisi delle immagini come Tracker.

Per osservazioni quantitative significative è importante raccogliere dati ad angoli di incidenza grandi (oltre 75°) in modo da poter valutare con maggior precisione la relazione tra angolo di incidenza e angolo di rifrazione. E' sicuramente utile mettere insieme più misure in modo da migliorare la precisione.

Riportare su un grafico θ_r in funzione di θ_i (usare radianti) e verificare che una retta non è un buon modello per i dati. Nota che la retta deve passare per l'origine, se non si prendono dati in un intervallo abbastanza ampio di dati potrebbe sembrare che la retta sia una buona approssimazione della relazione tra θ_i e θ_r , tuttavia l'intercetta si allontana significativamente dall'origine.

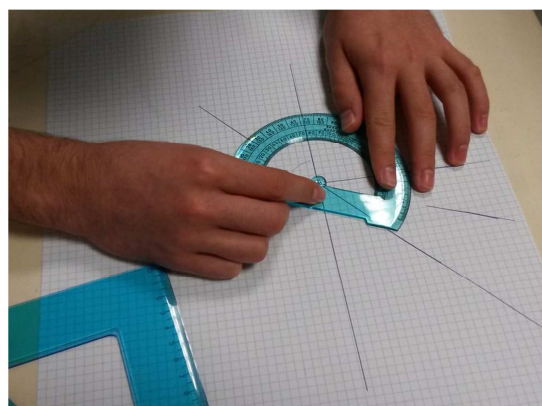
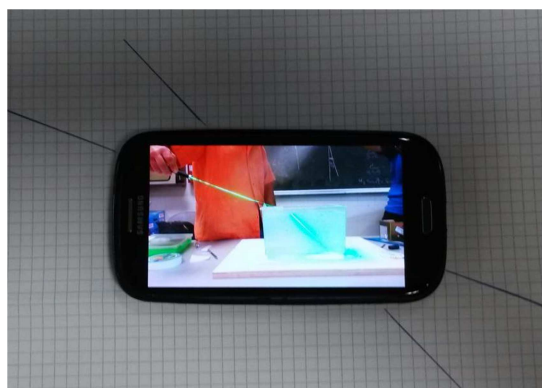
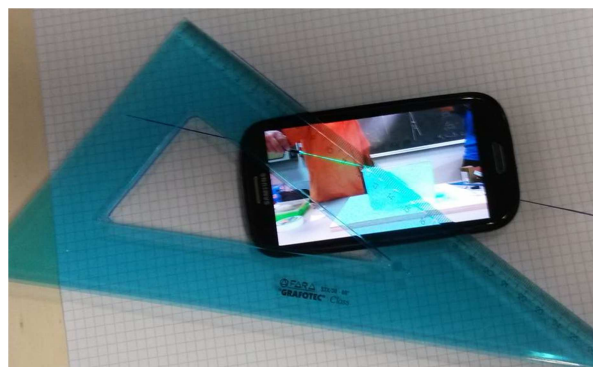
Verificare se la relazione:

$$\theta_r = \sqrt{\theta_i}$$

può essere considerato un buon modello per i dati. In effetti questa è l'ipotesi proposta da Tolomeo (L'Ottica, Libro V). Nota che se i dati non sono di qualità buona (errori grandi sulla misura degli angoli), e se non si raccolgono dati fino ad angoli abbastanza grandi ($\theta_i > 75^\circ$), la legge di potenza non è distinguibile dalla legge di Snell.

Riportare su un grafico $\sin(\theta_r)$ in funzione di $\sin(\theta_i)$ e verificare la relazione lineare.

$$\sin(\theta_r) = k \cdot \sin(\theta_i)$$



Calcolare l'indice di rifrazione dell'acqua dall'inverso del coefficiente angolare: $n_a=1/k$ da confrontare con il valore teorico $n_a=1.33$. Il calcolo del coefficiente angolare della retta si può ottenere usando la regressione lineare (es. la funzione `regr.lin()` di Excel-MS o Calc-Oo), altrimenti come media dei rapporti:

$$\frac{\sin(\theta_r)}{\sin(\theta_i)}$$

calcolati per i diversi punti sperimentali.

Nota: nelle foto si è usato un laser verde perchè si visualizza meglio il fenomeno (la diffusione di Rayleigh è più efficace per lunghezze d'onda più piccole, vedi scheda ###) tuttavia i laser verdi sono molto pericolosi. Nelle realizzazioni in aula vanno usati puntatoti laser rossi di bassa potenza.

Dati

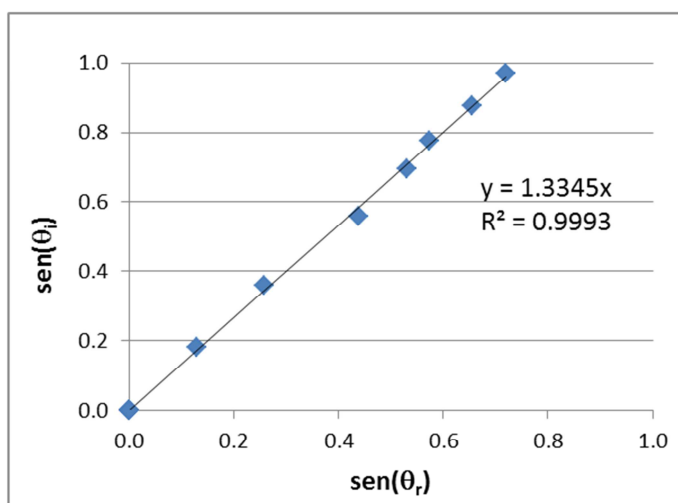
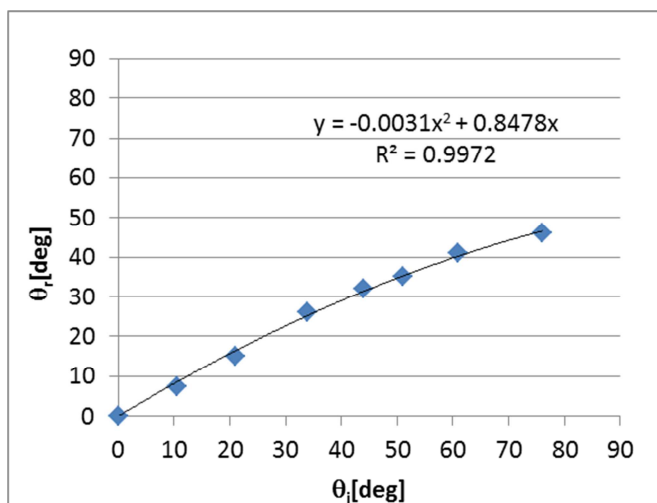
Esempio di dati raccolti in aula: i dati originali sono mostrati in tabella.

In basso: a sinistra i dati θ_r in funzione di θ_i e, sovrapposta, la curva di regressione quadratica impostando l'intercetta a 0 (l'equazione è mostrata sul grafico). A destra $\sin(\theta_r)$ in funzione di $\sin(\theta_i)$ e la retta di regressione il cui coefficiente angolare è l'indice di rifrazione del liquido (in effetti diviso per l'indice di rifrazione dell'aria). Il coefficiente R^2 indica la "bontà del fit" ed è (di poco) migliore per la legge $\sin(\theta_r) = k \sin(\theta_i)$.

L'errore può essere calcolato usando la funzione Excel `regr.lin()`

Si ottiene: $n_{H_2O} = 1.334 \pm 0.010$

Lettura angoli			
Incidenza		rifrazione	
[deg.]	err.	[deg.]	err.
0.0	1.0	0.0	0.5
10.5	0.5	7.5	0.5
21.0	0.5	15.0	0.5
34.0	0.5	26.0	0.5
44.0	0.5	32.0	0.5
51.0	0.5	35.0	0.5
61.0	0.5	41.0	0.5
76.0	0.5	46.0	0.5



Nota: usando la media dei rapporti $\sin(\theta_r) / \sin(\theta_i)$ per il calcolo di n , l'errore è maggiore perchè manca l'informazione sulla correlazione tra i parametri e il passaggio per l'origine:

$$n = 1.343 \pm 0.016$$

Media ed errore	
media	1.343
dev.st	0.042
err.media	0.016

Rapporto
$\sin(\theta_i)$
$\sin(\theta_r)$
1.396161
1.384627
1.275615
1.310876
1.354913
1.333142
1.34887