

Sociedade Portuguesa de Física  
Olimpíadas Nacionais de Física

28 de maio de 2022

Duração: 1 h 25 min

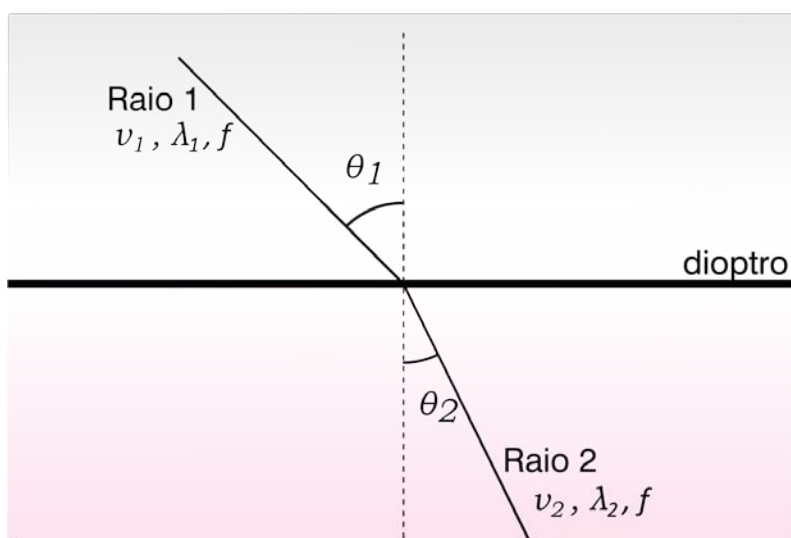
**Prova Experimental - Escalão B**

**Introdução**

Quando a luz é transmitida através de uma interface (dioptra) entre dois meios diferentes, normalmente ocorre modificação da velocidade e do comprimento de onda dos fótons, resultando numa mudança da direção do feixe, um fenómeno conhecido por refração. O índice de refração ( $n$ ) é uma grandeza física adimensional que mede a redução da velocidade da luz quando é transmitida através de um meio ótico homogéneo e transparente, sendo igual à razão entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no respetivo meio. A descoberta desta propriedade dos materiais é atribuída a Willebrord Snellius, cujo nome está associado à lei que descreve matematicamente a relação entre o ângulo de incidência de um feixe luminoso e o ângulo de refração numa interface entre dois meios (lei de Snell):

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2,$$

onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração dos dois meios e  $\theta_1$  e  $\theta_2$  são os ângulos que o feixe de luz faz com a normal ao dioptra que separa os dois meios, como mostra a figura.



A medição do índice de refração de um meio é muito útil em física e química, e tem várias aplicações na indústria. Por exemplo, o índice de refração de uma solução binária pode ser usado para determinar a concentração de cada componente. Nesta experiência vais determinar o índice de refração da água (usando diferentes métodos) e de uma solução açucarada (a partir da qual vais estimar a concentração de açúcar na solução).

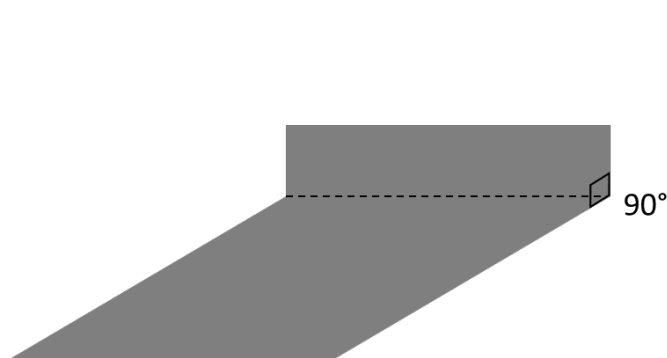
## Material disponível:

- Folhas de papel
- Recipiente de água (caixa plástica)
- Régua
- Transferidor
- Ponteiro laser
- Garrafa de água
- Pacotinhos de açúcar

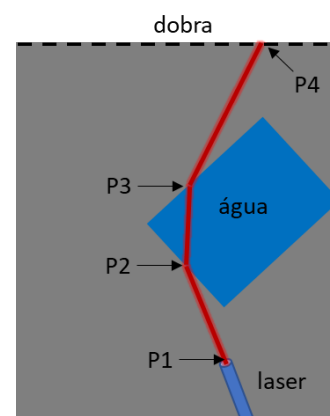
## Procedimento Experimental

### I. Determinação do índice de refração da água

I.1 – Dobra a folha de papel ao longo da marca a tracejado com um ângulo de  $90^\circ$ . A parte da folha na vertical será usada para interceptar o feixe laser (ver figura).



Folha de papel dobrada



Sistema experimental visto de cima

I.2 – Coloca a caixa de plástico em cima da folha, e adiciona-lhe aproximadamente metade da água contida na garrafa. Adiciona 10 pacotes de açúcar à restante água da garrafa e agita bem. Ao longo do procedimento experimental vai agitando a garrafa para que o açúcar seja completamente dissolvido, pois vais usar essa solução na final da experiência.

I.3 – Liga o ponteiro laser e verifica que está a funcionar corretamente. Usa a abraçadeira de plástico para manter o botão do laser premido, e coloca-o sobre a folha de papel. Desliga o laser sempre que este não esteja a ser usado para uma medição. **Nota muito importante: apesar de o laser que estás a utilizar ser de baixa potência, não deves apontá-lo a órgãos sensíveis, como olhos ou pele.**

I.4 – Ajusta a direção do ponteiro laser e a posição da caixa de plástico, de forma que o feixe atravesse dois lados do recipiente de água e o feixe refratado seja visível na porção vertical da folha de papel, como mostra a figura. Nota que o feixe deve cruzar as interfaces ar/água e água/ar numa posição onde as paredes do recipiente sejam planas. Deste modo, deves evitar que o feixe atravesse o recipiente demasiado próximo do canto ou do fundo do recipiente. Além disso, o feixe deve atravessar o recipiente abaixo do nível de água.

I.5 – Com o laser satisfatoriamente alinhado, marca no papel as posições em que o feixe sai do ponteiro laser (P1), em que incide no recipiente de água (P2), em que sai do recipiente (P3) e em que incide na parte vertical do papel (P4), tal como mostra a figura.

I.6 – Antes de retirar o recipiente com água, traça o seu contorno na folha de papel. Com a ajuda da régua, traça a trajetória percorrida pelo feixe bem como as linhas normais às duas interfaces: ar/água e água/ar. Com o transferidor, mede os ângulos de incidência e de refração para as duas interfaces e anota os valores obtidos na tabela.

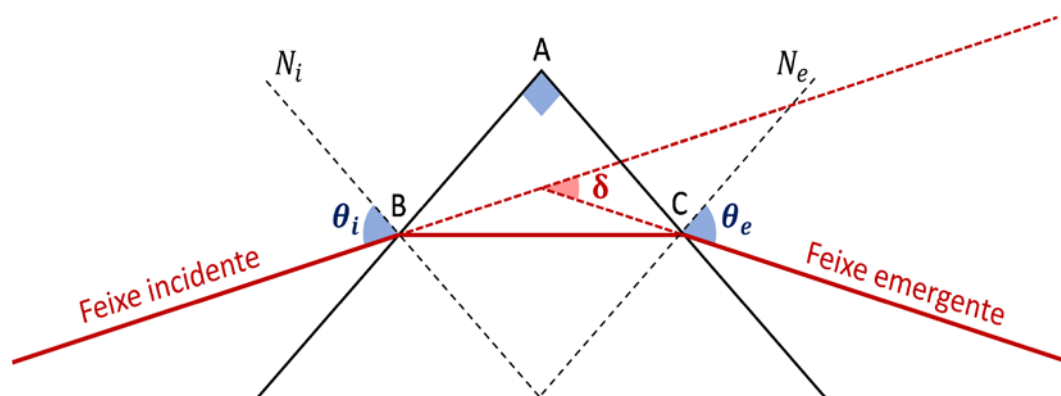
Interface		$\theta_{\text{incidente}}$	$\theta_{\text{refratado}}$	$n_{\text{água}}$
1	ar/água			
2	água/ar			
				média:

I.7 – Sabendo que o índice de refração do ar à pressão atmosférica e à temperatura ambiente é 1,00 (considera sempre este valor ao longo do protocolo experimental), calcula o índice de refração da água usando a lei de Snell. Obtém os valores para cada interface e calcula o valor médio, registando os valores na tabela.

I.8 – Compara os valores obtidos para o índice de refração da água. A que fatores atribuis as diferenças entre os valores obtidos? Qual a vantagem de fazer a média das duas medidas?

## II. Determinação do ângulo de desvio mínimo

O ângulo entre o feixe incidente num material e o feixe emergente do mesmo é designado por ângulo de desvio ( $\delta$ ), como ilustra a figura. À medida que se aumenta o ângulo incidente ( $\theta_i$ ) verifica-se que o ângulo de desvio diminui até atingir um valor mínimo, designado por *ângulo de desvio mínimo* ( $\delta_m$ ), aumentando novamente a partir daquele valor. Na situação de desvio mínimo os dois ângulos  $\theta_i$  e  $\theta_e$  serão iguais.



Usando considerações de trigonometria e a lei de Snell, podemos obter o ângulo de desvio mínimo a partir dos índices de refração do meio exterior ( $n_1$ ) e do material ( $n_2$ ):

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen}\left(\frac{\hat{A} + \delta_m}{2}\right)}{\text{sen}\left(\frac{\hat{A}}{2}\right)},$$

onde  $\hat{A}$  é o ângulo do canto que liga os lados do material onde se dá a dupla refração. No caso da caixa de plástico,  $\hat{A} = 90^\circ$ . Sendo  $n_1 = 1,00$  o índice de refração do meio exterior (ar), podemos obter o índice de refração da água ( $n_2$ ) a partir de:

$$n_2 = \frac{\text{sen}(45^\circ + \delta_m/2)}{\text{sen}(45^\circ)}.$$

Nesta parte da experiência vais obter o ângulo de desvio mínimo para o recipiente com água e estimar o índice de refração da água a partir da medida de  $\delta_m$ .

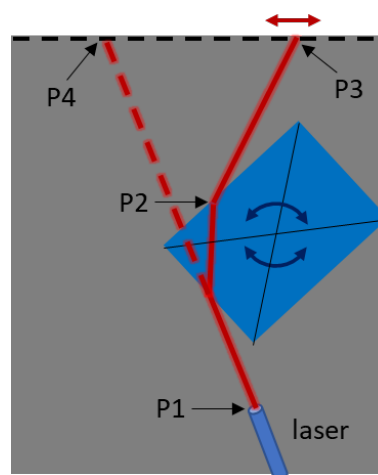
II.1 – Usa uma segunda folha de papel disponibilizada, fazendo a dobra vertical, tal como na secção I, e posiciona o ponteiro laser e o recipiente de água sobre o papel de forma que o feixe desviado seja visível na parte vertical da folha de papel.

II.2 – Verifica que, à medida que rodas o recipiente no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio, a certa altura o feixe desviado desaparece. Como explicas esta observação?

II.3 – Utilizando a lei de Snell, e considerando o valor médio do índice de refração da água obtido na secção I, calcula o ângulo de incidência crítica do feixe laser na interface água/ar a

partir do qual o feixe desviado desaparece. Mede o valor do ângulo incidente na interface água/ar (na situação em que o feixe desaparece) e compara-o com o valor calculado.

II.4 – Sem mover o ponteiro laser, roda o recipiente de água nos dois sentidos, tal como ilustrado na figura seguinte. Verifica que, à medida que rodas o recipiente no sentido dos ponteiros do relógio, o ângulo de desvio diminui até um certo valor (o ângulo de desvio mínimo), aumentando a partir daí. Durante o movimento de rotação do recipiente, o raio emergente vai deslocar-se horizontalmente ao longo do bordo da folha de papel, invertendo o sentido do seu movimento quando se atinge o ângulo de desvio mínimo. Verifica que na posição do ângulo de desvio mínimo, os pontos de entrada e de saída do feixe no recipiente se encontram à mesma distância do canto do recipiente (canto A na figura anterior).



II.5 – Com o recipiente na posição de ângulo de desvio mínimo, marca no papel os pontos P1, P2, P3 e P4 (ver figura anterior). Traça as linhas necessárias e determina o ângulo de desvio mínimo. A partir desse valor, calcula o índice de refração da água e preenche a tabela seguinte.

Ângulo de desvio mínimo ( $\delta_m$ )	Índice de refração da água ( $n$ )

II.6 – Sabendo que o índice de refração da água para a luz vermelha (650 nm) à temperatura ambiente é de 1,33, compara os valores obtidos para este parâmetro nas secções I e II, e comenta as diferenças entre os valores obtidos, justificando qual das medidas nos dá mais confiança no valor obtido.

### III – Determinação da massa de um pacote de açúcar

Nesta parte da experiência vais determinar a massa de açúcar contida num pacote através do índice de refração de uma solução aquosa açucarada que, por sua vez, será obtido a partir da medida do ângulo de desvio mínimo para a solução aquosa.

III.1 – Verifica se o açúcar que inseriste na garrafa de água no início da experiência já se encontra completamente dissolvido, agitando a garrafa caso necessário. Com o laser ligado, coloca o recipiente de água sobre a folha de papel de forma que a parte vertical da folha intercete o feixe, e verte a solução da garrafa no recipiente. Espera alguns segundos, até a mistura estar homogénea e o feixe desviado esteja claramente estável no alvo (parte vertical da folha de papel).

III.2 – Repete os procedimentos II.4 e II.5, agora para a solução açucarada, e calcula o índice de refração da solução aquosa. Preenche a tabela seguinte com os valores obtidos.

Ângulo de desvio mínimo ( $\delta_m$ )	Índice de refração da solução ( $n$ )

III.3 – Sabe-se que o índice de refração de uma solução de açúcar é linearmente dependente da sua concentração. À temperatura ambiente e para luz vermelha (650 nm), o índice de refração da solução é dado por:

$$n_{\text{solução}} = 1,65 \times 10^{-3} \times c + 1,33.$$

onde  $c$  representa a concentração de açúcar, expressa em percentagem da massa de açúcar relativamente à massa da solução. A partir do índice de refração que obtiveste acima, determina a massa de açúcar contida num pacote. Considera a densidade da água igual a 1 g/ml e o volume de água usado (200 ml). Anota o valor obtido na tabela seguinte e comenta o resultado obtido, comparando-o com o valor indicado no pacote ( $4 \pm 0,5$  g).

Massa de açúcar num pacote (gramas):
--------------------------------------