

# Olimpíada Brasileira Online de Física

2ª Fase - 01 e 02 de novembro de 2024

Nome: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_

Nível CL  
Ensino Médio  
1ª e 2ª séries

## Instruções de Prova

I. Esta prova destina-se exclusivamente aos alunos dos **1ª e 2ª séries do nível médio**. Ela contém **30** questões.

II. A duração máxima desta prova é de **quatro horas**.

III. A prova deve ser feita individualmente e não é permitido falar sobre a solução das questões durante o período de aplicação da prova **dias 01 de novembro e 02 de novembro**.

IV. Se necessário, e a menos que indicado ao contrário, use:  $\pi = 3,0$ ;  $\sqrt{2} = 1,4$ ;  $\sqrt{3} = 1,7$ ;  $\sqrt{5} = 2,2$ ;  $\sin 30^\circ = 0,50$ ;  $\cos 30^\circ = 0,85$ ;  $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = 0,70$ ; aceleração gravitacional na superfície da terra  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ; calor específico da água líquida  $c_a = 1 \text{ cal/(g }^\circ\text{C)}$ ; calor latente de fusão do gelo  $L = 80 \text{ cal/g}$ ;  $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ ; densidade da água líquida  $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ .

Apoio:





# Olimpíada Brasileira Online de Física



## Curiosidades:

Cesare Mansueto Giulio Lattes, mais conhecido como César Lattes (Curitiba, 11 de julho de 1924 — Campinas, 8 de março de 2005), foi um físico brasileiro, codescobridor do méson- $\pi$  (méson pi ou pión), descoberta que levou à concessão do Prêmio Nobel de Física de 1950 a Cecil Frank Powell, líder da pesquisa. Lattes é um dos mais ilustres físicos do Brasil e seu trabalho foi fundamental para o desenvolvimento da física atômica no país. Foi também um grande líder no meio científico brasileiro e um dos principais responsáveis pela criação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).



## Introdução

Durante uma exploração espacial, Hemétrio descobriu um planeta totalmente coberto por água, uma descoberta surpreendente para a humanidade! Ao explorar o planeta, Hemétrio descobriu que em uma certa região abaixo da água, há líquidos desconhecidos. Para um melhor estudo desse líquido, Hemétrio decide realizar experimentos para descobrir suas propriedades.

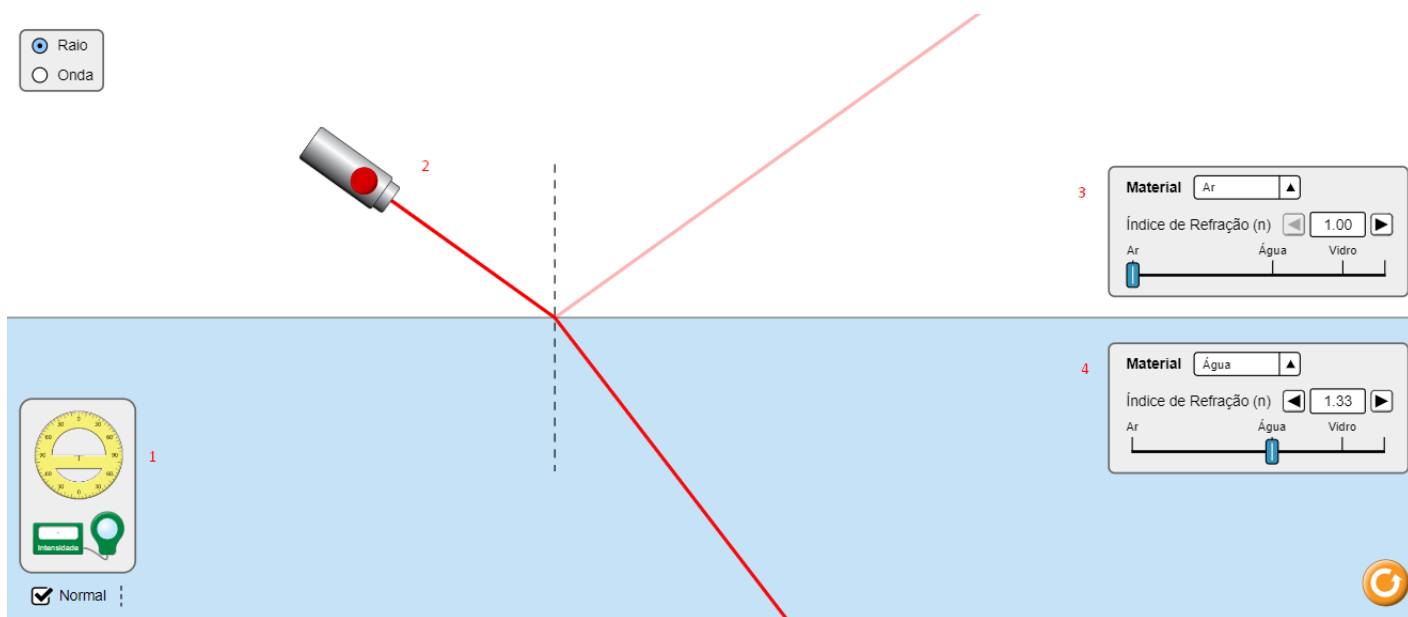
Você utilizará esse simulador para analisar as propriedades ópticas desses líquidos desconhecidos e, assim, ajudar Hemétrio a estudar esse planeta desconhecido. Ao longo do experimento, utilize  $n_{\text{agua}} = 4/3$

Para acessar o simulador, clique [aqui](https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html?locale=pt_BR), ou copie esse link: `https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html?locale=pt_BR`

## Sobre o simulador

Ao entrar no site, clique em intro. Após isso, você estará na página do simulador. Agora, você deve configurá-lo para realizar o experimento. Siga o passo a passo abaixo.





### Legenda:

1. Esse é o transferidor. Você pode selecioná-lo e posicioná-lo em qualquer lugar;
2. Esse é o laser. Ao clicar no botão vermelho, ele desliga. Você pode mudar a posição dele;
3. Nesse painel, você pode selecionar o material que compõe o meio de cima;
4. Nesse painel, você pode selecionar o material que compõe o meio de baixo.

## Experimento

### Parte A

**Questão 1.** Descreva um método experimental para calcular o índice de refração de algum meio a partir da Lei de Snell.

#### Solução:

O experimento do simulador consiste em um experimento de difração de dióptro plano. Para calcular o índice de refração, será realizado diversas medidas do ângulo de incidência da luz com a normal e seu respectivo ângulo de refração. Pela Lei de Snell, conseguiremos relacionar perfeitamente o seno desses ângulos e encontrar os índices de refração desejados.

Com isso, teremos a equação linearizada relacionando os dois dados medidos

$$n_{\text{agua}} \sin \theta_i = n_{\text{meio}} \sin \theta_r$$

Em que  $\theta_i$  é o ângulo de incidência com a normal e  $\theta_r$  é o ângulo de refração com a normal.



**Questão 2.** Escolha o meio de cima como a água como o meio de cima e o mistério A como o meio de baixo. Agora, faça uma tabela com as medidas necessárias de acordo com o método descrito e suas respectivas incertezas. Realize ao menos 15 medidas.

**Solução:**

Tabela 1: Ângulos de incidência e reflexão da água para o mistério A com seus respectivos senos.

$(\theta_i \pm 1)^\circ$	$(\theta_r \pm 1)^\circ$	$\sin \theta_i$	$\sin \theta_r$
5	4	$0,087 \pm 0,017$	$0,069 \pm 0,017$
10	5	$0,174 \pm 0,017$	$0,087 \pm 0,017$
15	8	$0,259 \pm 0,017$	$0,139 \pm 0,017$
20	10	$0,342 \pm 0,016$	$0,174 \pm 0,017$
25	13	$0,423 \pm 0,016$	$0,225 \pm 0,017$
30	15	$0,500 \pm 0,015$	$0,259 \pm 0,017$
35	19	$0,573 \pm 0,014$	$0,326 \pm 0,017$
40	20	$0,643 \pm 0,013$	$0,342 \pm 0,016$
45	23	$0,707 \pm 0,012$	$0,391 \pm 0,016$
50	25	$0,766 \pm 0,011$	$0,423 \pm 0,016$
55	26	$0,819 \pm 0,010$	$0,438 \pm 0,016$
60	28	$0,866 \pm 0,009$	$0,469 \pm 0,015$
65	30	$0,906 \pm 0,007$	$0,500 \pm 0,015$
70	31	$0,940 \pm 0,006$	$0,515 \pm 0,015$
80	33	$0,985 \pm 0,003$	$0,545 \pm 0,015$

O cálculo da incerteza do  $\sin \theta$  é dado por

$$\sigma(\sin \theta) = \cos \theta \sigma(\theta)$$

**OBS 1** Para usar essa equação acima,  $\sigma(\sin \theta)$  deve estar em radianos. Fazendo a conversão  $\sigma(\sin \theta) = 1^\circ \approx 0,017$

**OBS 2:** Ao longo de todo o problema, foi utilizado  $\sigma(\theta_i) = \sigma(\theta_r) = 1^\circ$ , pois essa é a estimativa do "espaço ocupado" pelo laser durante a medição.



**Questão 3.** Com os dados da tabela anterior, realize um gráfico linearizado no papel quadriculado e descubra qual o índice de refração do mistério A.

**Solução:**

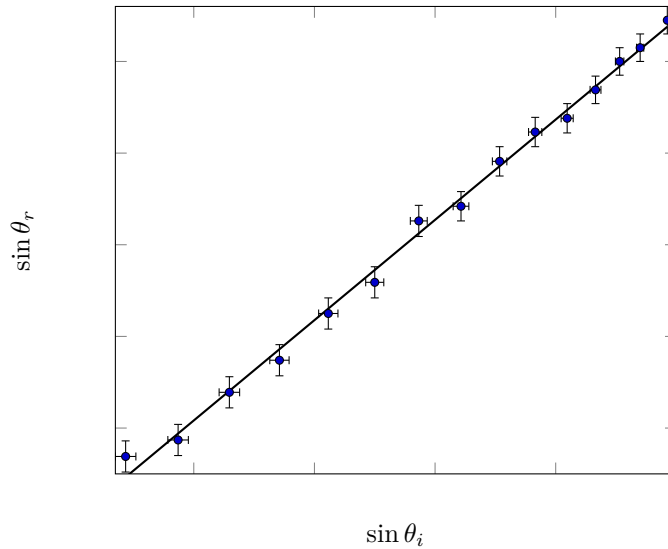


Gráfico 1: Ângulo de incidência x ângulo refratado do mistério A

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ A &= (1 \pm 6) \times 10^{-3} \\ B &= (0,547 \pm 0,009) \end{aligned}$$

Da Lei de Snell:

$$\sin \theta_r = \frac{n_{\text{agua}}}{n_A} \sin \theta_i$$

Comparando a equação anterior com a da reta, tem-se:

$$\sin \theta_r \rightarrow Y; \sin \theta_i \rightarrow X; \frac{n_{\text{agua}}}{n_A} \rightarrow B$$

Logo,

$$n_A = \frac{n_{\text{agua}}}{B}$$

Para a sua incerteza, teremos:

$$\sigma(n_A) = \frac{n_{\text{agua}}}{B^2} \sigma(B)$$

Substituindo os valores:

$$n_A = 2,44 \pm 0,04$$



**Questão 4.** Mude o meio debaixo para o mistério B e mantenha o meio de cima como a água. Faça uma tabela com as medidas necessárias de acordo com o método descrito e suas respectivas incertezas. Realize ao menos 15 medidas.

**Solução:**

Tabela 1: Períodos de oscilação para comprimento.

$(\theta_i \pm 1)^\circ$	$(\theta_r \pm 1)^\circ$	$\sin \theta_i$	$\sin \theta_r$
15	13	$0,259 \pm 0,017$	$0,225 \pm 0,017$
20	19	$0,342 \pm 0,016$	$0,326 \pm 0,017$
25	23	$0,423 \pm 0,016$	$0,391 \pm 0,016$
30	28	$0,500 \pm 0,015$	$0,469 \pm 0,015$
35	33	$0,573 \pm 0,014$	$0,545 \pm 0,015$
40	37	$0,643 \pm 0,013$	$0,602 \pm 0,014$
45	42	$0,707 \pm 0,012$	$0,669 \pm 0,013$
50	46	$0,766 \pm 0,011$	$0,719 \pm 0,012$
55	51	$0,819 \pm 0,010$	$0,777 \pm 0,011$
60	55	$0,866 \pm 0,009$	$0,819 \pm 0,010$
65	60	$0,906 \pm 0,007$	$0,866 \pm 0,009$
70	64	$0,940 \pm 0,006$	$0,899 \pm 0,008$
75	67	$0,966 \pm 0,005$	$0,921 \pm 0,007$
80	70	$0,985 \pm 0,003$	$0,940 \pm 0,006$
85	71	$0,9962 \pm 0,0015$	$0,946 \pm 0,006$

O cálculo da incerteza do  $\sin \theta$  é dado por

$$\sigma(\sin \theta) = \cos \theta \sigma(\theta)$$

**OBS 1** Para usar essa equação acima,  $\sigma(\sin \theta)$  deve estar em radianos. Fazendo a conversão  $\sigma(\sin \theta) = 1^\circ \approx 0,017$

**OBS 2:** Ao longo de todo o problema, foi utilizado  $\sigma(\theta_i) = \sigma(\theta_r) = 1^\circ$ , pois essa é a estimativa do "espaço ocupado" pelo laser durante a medição.



**Questão 5.** Com os dados da tabela anterior, realize um gráfico linearizado no papel quadriculado e descubra qual o índice de refração do mistério B.

**Solução:**

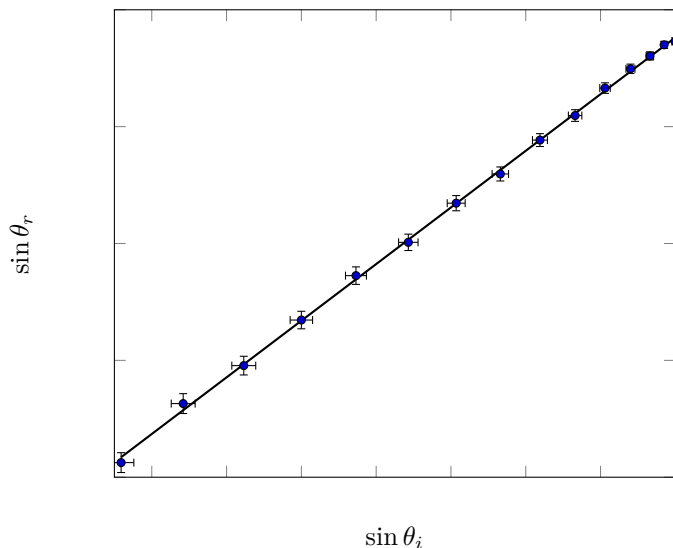


Gráfico 2: Ângulo de incidência x ângulo refratado do mistério B

$$\begin{aligned} Y &= A + BX \\ A &= (-17 \pm 4) \times 10^{-3} \\ B &= (0,970 \pm 0,006) \end{aligned}$$

Da Lei de Snell:

$$\sin \theta_r = \frac{n_{agua}}{n_B} \sin \theta_i$$

Comparando a equação anterior com a da reta, tem-se:

$$\sin \theta_r \rightarrow Y; \sin \theta_i \rightarrow X; \frac{n_{agua}}{n_B} \rightarrow B$$

Logo,

$$n_B = \frac{n_{agua}}{B}$$

Para a sua incerteza, teremos:

$$\sigma(n_B) = \frac{n_{agua}}{B^2} \sigma(B)$$

Substituindo os valores:

$$n_B = 1,374 \pm 0,008$$



## Parte B

Em determinado momento da expedição, Hemétrio mergulhou nos líquidos misteriosos e percebeu que a luz de sua lanterna não refratava para a água.

**Questão 6.** Explique esse fenômeno

### Solução:

Esse fenômeno é conhecido como reflexão interna total, em que a luz não consegue passar do meio mais refringente para o menos refringente, ou seja, ela é totalmente refletida. Para achar o ângulo limite em que isso ocorre, podemos usar a Lei de Snell:

$$n_i \sin \theta_i = n_r \sin \theta_r$$

Em que  $n_i > n_r$ . Veja que, para um determinado  $\theta_i$ , a Lei de Snell não funciona, visto que teríamos  $\sin \theta_r > 1$ . Portanto, o ângulo limite  $\theta_i$  é tal que  $\theta_r = 90^\circ$ .

Com isso:

$$\sin \theta_i = \frac{n_r}{n_i}$$

**Questão 7.** Selecionando o meio de cima como o mistério A e o de baixo como a água, utilize o fenômeno observado para calcular o índice de refração do mistério A com sua respectiva incerteza. Faça o mesmo procedimento para calcular o índice de refração do mistério B. Nessa questão, não é necessário o uso de gráficos.

### Solução:

Para realizar esse experimento de forma mais precisa, realizaremos 3 medidas de forma direta do ângulo de incidência. O valor final será a média dessas 3 medidas.

Tabela 3: Medidas do ângulo limite de reflexão interna total para o meio A

$(\theta_{A1} \pm 1)^\circ$	$(\theta_{A2} \pm 1)^\circ$	$(\theta_{A3} \pm 1)^\circ$	$(\bar{\theta}_A \pm 1, 0)^\circ$	$\sin \theta_A$
34	35	34	34,3	$0,564 \pm 0,014$

Logo, substituindo na Lei de Snell:

$$n_A = \frac{n_{\text{agua}}}{\sin \theta_A}$$

Para sua incerteza:

$$\sigma(n_A) = \frac{n_{\text{agua}}}{\sin^2 \theta_A} \sigma(\sin \theta_A)$$

Substituindo os valores:

$$n_A = 2,36 \pm 0,06$$

Agora, vamos repetir o mesmo procedimento para o mistério B:





Tabela 4: Medidas do ângulo limite de reflexão interna total para o meio B

$(\theta_{B_1} \pm 1)^\circ$	$(\theta_{B_2} \pm 1)^\circ$	$(\theta_{B_3} \pm 1)^\circ$	$(\bar{\theta}_B \pm 1, 0)^\circ$	$\sin \theta_B$
72	73	73	72,7	$0,955 \pm 0,005$

Logo, substituindo na Lei de Snell:

$$n_B = \frac{n_{\text{agua}}}{\sin \theta_B}$$

Para sua incerteza:

$$\sigma(n_B) = \frac{n_{\text{agua}}}{\sin^2 \theta_B} \sigma(\sin \theta_B)$$

Substituindo os valores:

$$n_B = 1,397 \pm 0,007$$