

OLIMPIÁDA BRASILEIRA DE FÍSICA DAS ESCOLAS PÚBLICAS 2023

2ª FASE – NÍVEL C (alunos(as) do 3º e 4ª séries – Ensino Médio e Técnico)

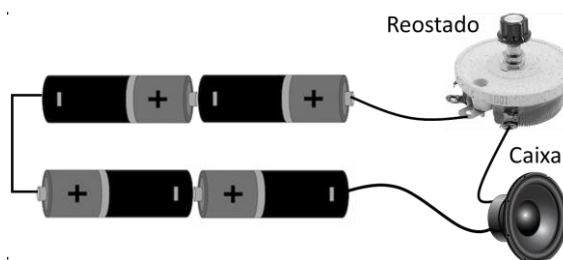


LEIA ATENTAMENTE AS INSTRUÇÕES ABAIXO:

- 01) Esta prova destina-se exclusivamente a alunos da 3ª e 4ª séries do Ensino Média e Técnico. Ela contém cinco **questões teóricas e um procedimento experimental com sete questões**.
- 02) Além deste caderno com as questões, você deve receber um Caderno de Resoluções. Leia atentamente todas as instruções deste caderno e do Caderno de Resoluções antes do início da prova.
- 03) A duração desta prova é de **quatro horas e trinta minutos**, com uma extensão de **até trinta (30) minutos**, devendo o aluno permanecer na sala por no **mínimo noventa (90) minutos**.

01. Do ponto de vista energético, o receptor de sinais de um rádio portátil não consome, nem produz significativamente energia elétrica. Energeticamente, os elementos importantes do circuito desse equipamento estão representados na figura abaixo. Esse circuito precisou funcionar por 40 horas seguidas com corrente elétrica de 50 mA e potência sonora de 0,2 W, para consumir toda a energia das 4 pilhas utilizadas. Cada pilha tinha inicialmente uma carga de 2000 mAh, possui $0,5 \Omega$ de resistência interna e 1,2 V de fem. Considerando que a caixa de som possui 2Ω de resistência interna e sua força contra eletromotriz permanece constante, responda as perguntas abaixo.

- Qual o valor da resistência que o reostato está assumindo?
- Por quantas horas **a menos**, em relação à situação anterior, esse aparelho vai funcionar, alimentado por essas pilhas totalmente carregadas no início, se reduzirmos a resistência do reostato para zero?



02. Em um jogo de futebol, no estádio do Maracanã, em um dia quente de verão, a bola usada tinha 0,5 kg de massa, 4,0 L de volume, 27°C de temperatura e uma pressão interna de 120 kPa. No tiro de meta (bola parada no solo), um jogador chutou essa bola com toda sua “força”, imprimindo nela uma velocidade de 20 m/s em uma direção que forma um ângulo de 37° (seno = 0,6 e cosseno = 0,8), em relação à horizontal. O chute propriamente dito promoveu uma redução de 25% do volume da bola e um aumento a pressão interna para 184 kPa. O ar do seu interior comprime tão rapidamente que o processo pode ser considerado adiabático. Durante seu movimento, após perder o contato com o pé do jogador, a bola aumenta de volume e troca calor com o ar externo, retornando às condições iniciais. Considerando-se que o gás contido no interior da bola é ideal e que a resistência do ar é desprezível, responda as perguntas a seguir.

Dados: aceleração da gravidade = 10 m/s^2

calor molar à volume constante do ar contido na bola = 16 J/mol.K

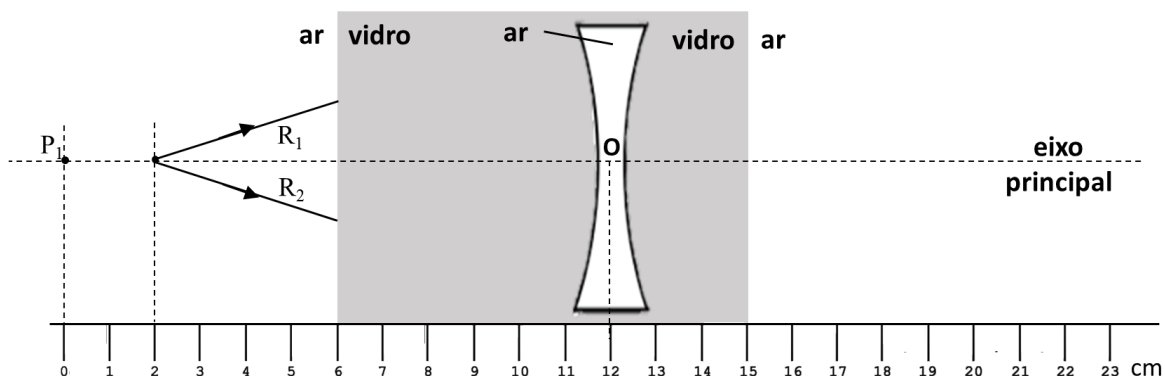
constante dos gases ideais = 8 J/mol.K

Zero absoluto = -273°C

- Se outro jogador não tocar na bola antes dela atingir o solo, qual será o alcance desse lançamento?
- Considerando que apenas o ar do interior da bola aumentou a energia interna, qual foi o trabalho total que o pé do jogador aplicou na bola durante o chute?



03. Na figura abaixo, R_1 e R_2 são raios de luz que pertencem a um feixe de luz emitido por uma lâmpada, considerada uma fonte pontual. Esse feixe entra em um bloco de vidro onde existe uma concavidade preenchida com ar na forma de uma lente de faces côncavas cujo centro óptico é o ponto O. P_1 é a imagem da lâmpada formada pelo processo de refração na superfície do dioptro plano ar/vidro. Ao atravessar a lente, a luz formará uma segunda imagem, P_2 . Ao emergir do bloco, a luz formará uma terceira imagem, P_3 .



Sabendo que o módulo da distância focal dessa lente é 4 cm, responda as perguntas abaixo.

- Localize as imagens P_2 e P_3 na figura acima e determine a distância de cada uma em relação à imagem P_1 .
- Na própria figura acima, desenhe o caminho dos raios R_1 e R_2 até emergirem do bloco de vidro, traçando linhas contínuas (próprio raio de luz) ou/e tracejadas (prolongamento do raio de luz) que mostrem o vínculo geométrico entre esses raios e os pontos imagens nos diversos processos.

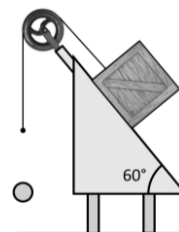
04. Uma caixa de 8 kg estava descendo um plano inclinado ligada por um fio inextensível a uma pequena esfera com $+40 \mu\text{C}$. Logo abaixo dessa esfera, uma outra esfera de 2 kg com $-7 \mu\text{C}$ subia no mesmo ritmo da primeira ao ponto da distância entre elas permanecer a mesma. O coeficiente de atrito dinâmico relativo ao contato entre a caixa e o plano é 0,3. Desprezando a resistência do ar, a massa da pequena esfera e da corda, responda as perguntas abaixo sobre o movimento desses corpos antes das esferas atingirem a roldana.

Dados: constante eletrostática = $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{C}^{-2} \cdot \text{m}^2$

Aceleração da gravidade = 10 m/s^2

$\cos 60^\circ = 0,5$ e $\sin 60^\circ \cong 0,9$

- Qual o valor da aceleração desenvolvida pelos corpos?
- Qual a distância entre as esferas?



05. No início do século XX, as frequências f da radiação emitida pelo hidrogênio foram mapeadas e relacionadas conforme a equação $f = 3,3 \times 10^{15} \left(\frac{1}{b^2} - \frac{1}{a^2} \right)$, onde a e b pertencem a \mathbb{N}^* e $a > b$ e f encontra-se em Hz.

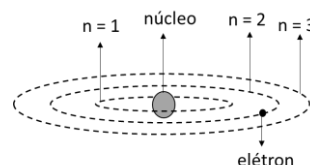
Em 1911, Rutherford apresentou o modelo atômico planetário. Se os elétrons seguissem esse modelo e obedecessem à teoria vigente sobre o eletromagnetismo (Leis de Maxwell), eles se aproximariam do núcleo, emitindo radiação de espectro contínuo até colapsar com ele. Nem o espectro do hidrogênio é contínuo, nem os elétrons colapsam com o núcleo. Em 1913, estimulado pelos trabalhos de Planck e Einstein sobre os fótons, Bohr propôs que o modelo planetário é funcional, desde que ele obedecesse aos seguintes postulados:

- Os elétrons só podem se movimentar por órbitas discretas. Cada uma seria identificada por número n , $n \in \mathbb{N}^*$. Quanto maior o número n , mais externa e mais energética é a órbita. No hidrogênio, o elétron pode sair de uma órbita mais externa para uma mais interna, emitindo um fóton com hf de energia que é a diferença da energia em cada órbita. letras a e b da equação do espectro do hidrogênio são, respectivamente, o n da órbita inicial (n_0) e o n da órbita final (n_f) do elétron na mudança de órbita (**transição eletrônica**).
- Ao chegar na órbita mais próxima do núcleo, $n = 1$, o elétron do átomo de hidrogênio não pode mais emitir energia – é o estado fundamental do átomo de hidrogênio, o estado mais estável.
- Se chegar no átomo um fóton com energia hf que é igual ao desnível energético entre a órbita que o elétron está e outra mais externa, esse o absorverá o que provocará uma transição eletrônica que afastará mais o elétron do núcleo. A equação das frequências pode ser usada para definir o valor de hf se permutar a e b .

Considerando $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, responda as perguntas abaixo levando em consideração o texto acima e seu conhecimento sobre o modelo atômico planetário de Rutherford-Bohr.

a) A ionização do átomo de hidrogênio ocorre quando ele fica sem elétron, ou seja, quando este fica a uma distância “infinita” do seu núcleo. De acordo com o modelo planetário, isso acontece quando o elétron recebe um fóton que faz ele sofrer uma transição para o infinito em relação a esse átomo: b tende a infinito. Qual a quantidade de energia de ionização do átomo de hidrogênio se este estiver inicialmente no estado fundamental?

b) O modelo planetário é um deleite teórico, pois usa a Mecânica e a Eletricidade clássicas para entender o mundo atômico. Pena que seus resultados só reproduzem a realidade de forma aceitável para o átomo de hidrogênio. Representando a carga elementar e a constante eletrostática por e e k , respectivamente, apresente uma relação entre a energia cinética E_c e o raio de órbita r do elétron do átomo de hidrogênio no modelo planetário.



OBFEP2023 - Prova Experimental Nível C

Determinação do índice de refração de um bloco transparente

Kit experimental

- Laser
- Transferidor
- Régua
- Bloco transparente (de acrílico)
- Suporte de borracha

Atenção: não mire o laser no rosto de seus colegas; o reflexo da luz do laser também pode causar incômodo à visão dos colegas e até mesmo à sua própria; aconselha-se a ligar o laser apenas quando realizar as medições.

Introdução:

Ao se propagar por um meio, a luz (que é uma onda eletromagnética) interage com a matéria e, como consequência, sua velocidade é reduzida. Como não há matéria no vácuo, a velocidade da luz tem seu máximo valor (c), por volta de 300 milhões m/s^1 , mas na água, por exemplo, interage com as moléculas de H_2O e sua velocidade é por volta de 220 milhões m/s .

A luz tem uma velocidade específica em cada material. Como resultado, é possível definir um índice que compara a velocidade da luz no material (v) com a velocidade da luz no vácuo (c): o índice de refração, $\eta = c/v$. Por exemplo, o índice de refração da água é: $\eta_{\text{água}} = 1,3$; agora, se o meio em questão for o próprio vácuo, como $v = c$, $\eta_{\text{vácuo}} = 1$. Quando a luz atravessa de um meio para outro, sua direção de propagação sofre um desvio, dependendo do **ângulo de incidência** e do índice de refração do meio *em que ela entra*. Vamos usar esse comportamento para determinar o *índice de refração do bloco transparente* η_{bloco} .

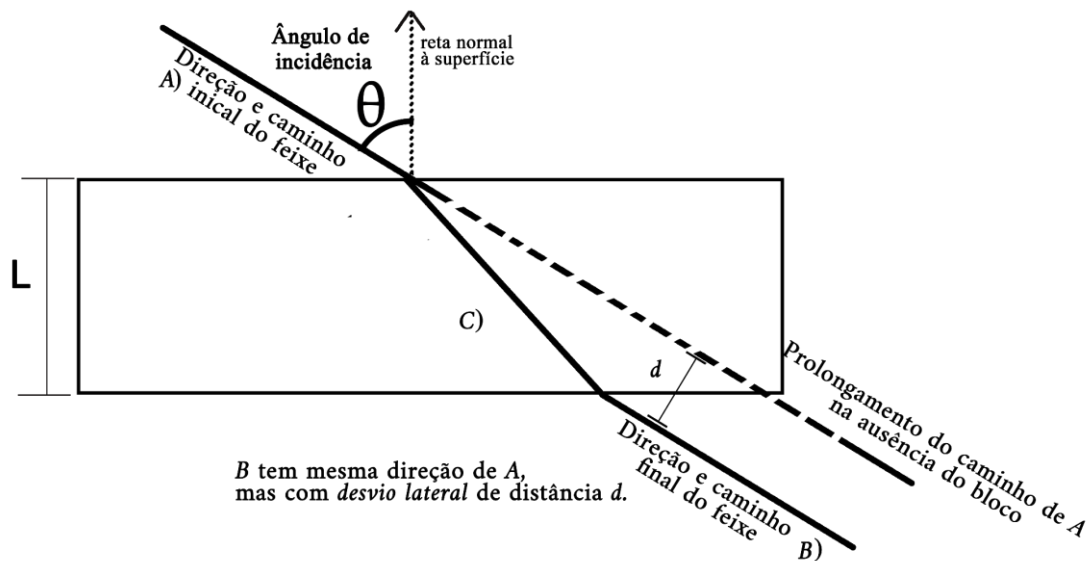


Figura 1: Representação esquemática do fenômeno de desvio lateral, visão de cima.

A Figura 1 é uma representação do experimento: a luz emitida pelo laser mudará de meio **duas vezes**. Uma vez ao entrar e outra ao sair do bloco, isso causa **dois desvios de trajetória**: um de A) para C) e um de C) para B). Na Figura 1, o **ângulo de incidência** (θ) é medido entre o feixe incidente A) e a reta (pontilhada) normal à superfície.

Tanto em A) quanto em B) a luz tem a mesma direção, pois se propaga no mesmo meio, o ar. Mas como em C) o meio é diferente, a luz muda de direção percorrendo uma distância *adjacente* igual a L , a largura do bloco, por isso o caminho de B) acaba se afastando do *caminho prolongado* de A) (linha tracejada) por uma distância d , o chamado *desvio lateral*.

¹ Mais precisamente, a velocidade da luz no vácuo é 299.792.458 metros por segundo

Se soubermos o **ângulo de incidência**, o *desvio lateral* e a largura L do bloco podemos determinar η_{bloco} por meio de uma relação matemática.

Então, vamos medir o *desvio lateral* de determinados ângulos θ , em **graus**, usando o transferidor. Mas nos cálculos vamos transformar o valor de θ , em **grau**, para o equivalente em **radiano**, ϵ . Dessa forma, poderemos usar uma aproximação muito útil: para pequenos valores, o *seno* de um ângulo (em radianos) é, aproximadamente, o próprio ângulo:

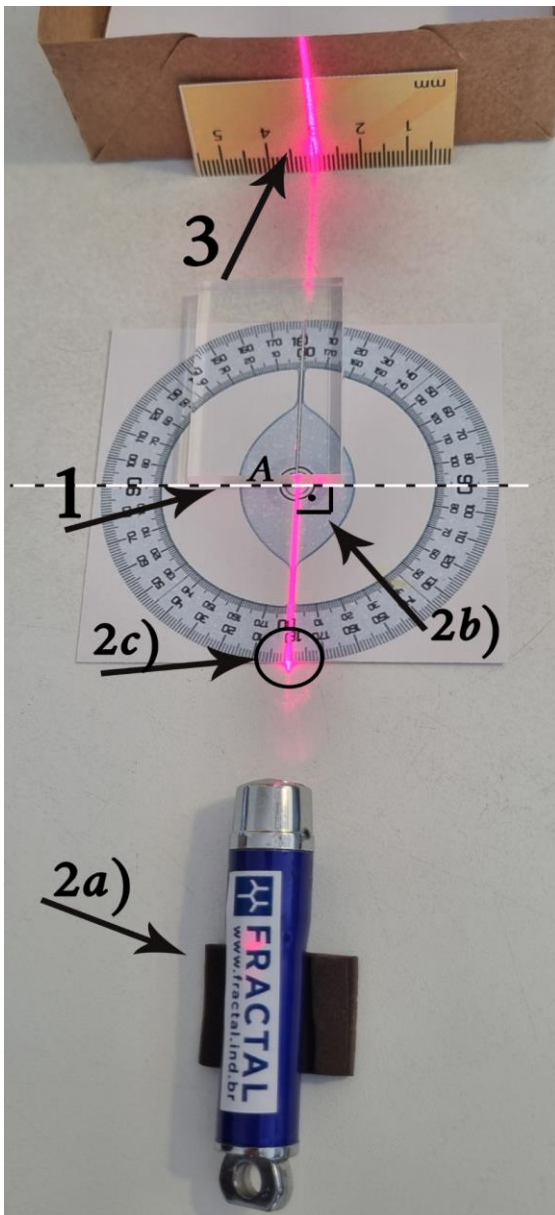
$$\text{sen. } \epsilon \approx \epsilon \quad (1)$$

e isso só vale quando usamos *radianos*.

Usando esta estratégia, a expressão do *desvio lateral* pode ser escrita, **no presente caso**, como:

$$d = \Delta L \epsilon \quad (2)$$

- d é o *desvio lateral*, a distância em milímetros em que o feixe é deslocado;
- L é a largura do material em milímetros (medido na direção da reta normal);
- ϵ é o **ângulo de incidência** em radianos;
- $\Delta = \frac{1}{\eta_{inicial}} - \frac{1}{\eta_{bloco}}$, o que nos dá uma relação entre η_{bloco} e $\eta_{inicial}$.²



Montagem Experimental

Certifique-se de preparar o laser desrosqueando completamente a tampa traseira, retirando o isolante entre as pilhas e rosqueando-a de volta em seguida.

O laser será ativado ao ser rosqueado, impulsionando as pilhas para dentro, e desligado ao ser desrosqueado parcialmente. Una os dois transferidores, formando um círculo completo e posicione o bloco transparente sobre eles **conforme é exibido na Figura 2) (ao lado)**:

Seta 1: A face de entrada (A) deve estar alinhada com as marcações de 90° (linha tracejada).

Seta 2: a) coloque o laser sobre o suporte;
b) aponte-o perpendicularmente à face do bloco (o feixe de luz vai estar exatamente na reta normal à face do bloco);
c) o feixe de luz deve estar alinhado ao ângulo 0° do transferidor.

Seta 3: Posicione a régua à frente do bloco, centralizando o feixe em alguma gradação (ex: número 3), esse número será o nosso zero, a origem das medições. Deixe a régua de cabeça para baixo para visualizar a coincidência do feixe desviado de maneira clara com as gradações da régua. Use a caixinha onde estava o kit experimental para apoiar a régua.

Figura 2: Montagem experimental

² Note que o meio inicial aparece porque é nele que a luz entra na **segunda** troca de meio.

Medição

Considere $\eta_{\text{vácuo}} = \eta_{\text{ar}} = 1$.

Figura 3

Neste experimento vamos coletar o valor de d para cada ângulo de incidência θ indicado na prova. Então, vamos determinar o valor de Δ e, finalmente, o valor do índice de refração do material que constitui o bloco. Para as medições siga o procedimento exemplificado na **Figura 3** (ao lado) e descrito abaixo:

Sempre gire o bloco e o transferidor em torno do centro e no sentido horário, de modo que:

Seta 1: O feixe do laser incide ao mesmo tempo no bloco e exatamente no centro do transferidor.

Seta 2: O ângulo de incidência θ (em graus) é exatamente o ângulo do transferidor iluminado pelo feixe (por isso é importante que, inicialmente, alinhe-se o feixe do laser ao ângulo 0°).

Seta 3: Na régua, dois feixes estarão visíveis (conforme esquematizado na Figura 4): o feixe principal e um feixe deslocado. **A distância entre esses dois feixes, é o desvio lateral d .**

Atenção: O laser deve permanecer imóvel durante todo o experimento, de modo que o *feixe principal* se mantenha sobre a mesma graduação (por exemplo, o **centro** da régua definido seção anterior, Seta 3).

Nota: A presença de dois feixes sobre a régua se dá porque a parte superior do feixe passa por cima do bloco, não sendo desviada, já a parte inferior atravessa o bloco e atinge a régua em uma posição diferente e com menor intensidade luminosa.

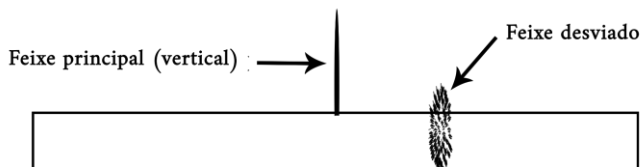
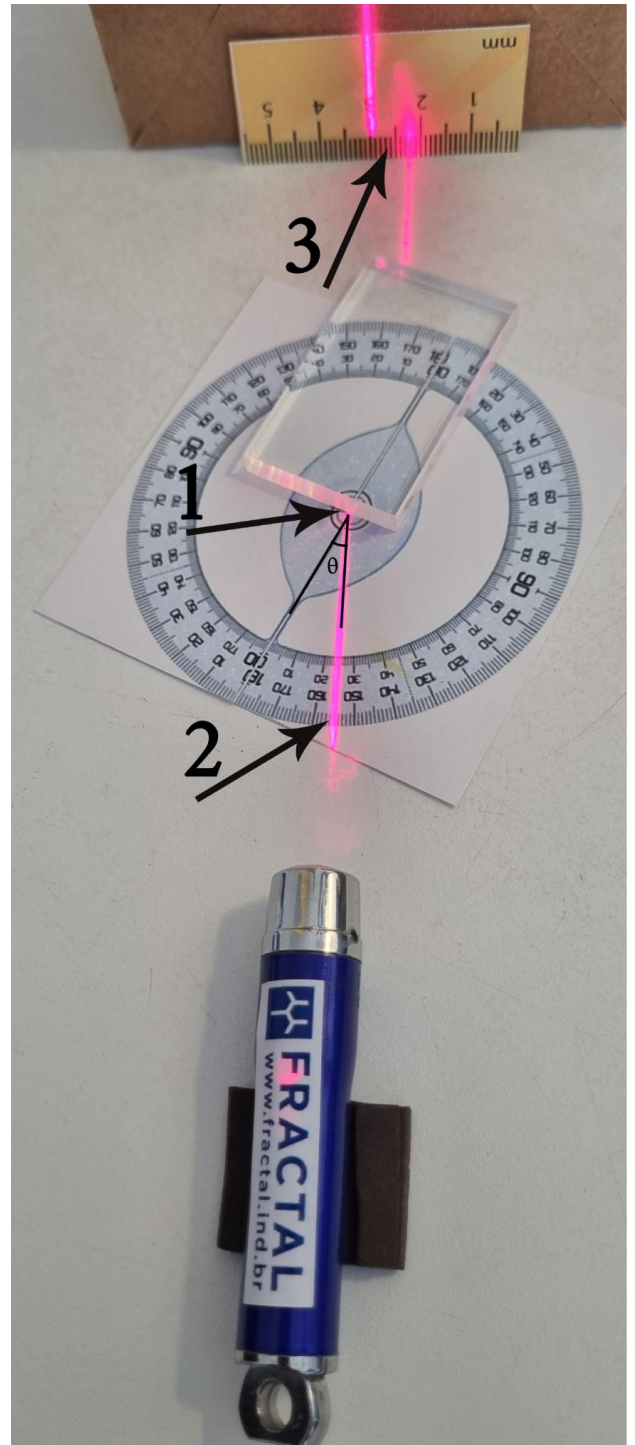


Figura 4: Imagem esperada na régua.



Coleta de dados

Questão 1) Reproduza a Tabela ao lado, na página 4 do Caderno de Resoluções (CR), depois complete-a com o que se pede:

(Use a unidade do **milímetro**)

- a) o comprimento L do bloco; o desvio lateral d associado a cada um dos ângulos de incidência $\theta = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ e 25° .
b) calcule a média \hat{d} dos quatro valores de d .

Questão 2) Reproduza a figura abaixo, **Gráfico 1**, na página 4 do Caderno de Resoluções (CR), e em seguida: **complete a escala do eixo vertical** e insira os quatro pontos correspondentes a cada um dos pares de valores d e ϵ .

	Ângulo de incidência θ (graus)	Equivalente ϵ (radianos)	Deslocamento lateral d (mm)
Medida 1	10°	0,17	
Medida 2	15°	0,26	
Medida 3	20°	0,35	
Medida 4	25°	0,44	
	$\hat{\theta}$	$\hat{\epsilon}$	\hat{d}
Média	18°	0,31	
Comprimento de L (mm)			

Análise dos dados experimentais

Pelo exposto na introdução, a relação entre os valores médios do *desvio lateral* e do ângulo ϵ , em radianos, é dada por:

$$\hat{d} = \Delta L \hat{\epsilon} \quad (3)$$

Questão 3) Use os valores das médias \hat{d} e $\hat{\epsilon}$ na equação (3) para encontrar o valor de Δ e escreva-o na página 4 do Caderno de Resoluções (CR).

Ajuste linear (Simplificado)

Questão 4) Usando o valor de Δ e a equação (2) dada na Introdução, é possível calcular qual seria o *desvio lateral* para um ângulo de incidência qualquer; neste caso:

- Calcule, usando a montagem experimental, o valor de d para o ângulo $\theta = 30^\circ$ ($\epsilon = 0,52$).
- Desenhe na figura do **Gráfico 1 do Caderno de Resoluções (CR)** o par d e ϵ obtido no item a). utilizando um símbolo diferente dos demais pontos.
- Em seguida, trace uma linha *reta* ligando o novo ponto à origem do gráfico.

Esta reta pode ser considerada a reta do ajuste linear.

Questão 5) A respeito da *reta de ajuste linear* da **questão 4c)**, interprete seu significado (leve em conta apenas os pontos da **questão 1)**.

Relação matemática da reta

A equação (2) dada na **Introdução** pode ser interpretada como a equação de uma linha reta passando pela origem (com $b = 0$); portanto, pode ser reescrita, na forma geral, como:

$$y = ax, \quad (4)$$

ou seja, (4) é equivalente a (2) quando a , y e x forem definidos corretamente em termos de d , L , ϵ e Δ .

Questão 6) Compare cada termo da equação (4) com os termos correspondentes da equação (2). Ou seja, encontre e escreva na página 4 do Caderno de Resoluções (CR) as relações entre a , y , x e d , L , ϵ , Δ .

Questão 7) Considerando a expressão de Δ dada na **Introdução**, estabeleça na página 4 do Caderno de Resoluções (CR) a expressão do índice de refração do bloco, η_{bloco} , e calcule seu valor.

Gráfico 1

Gráfico do desvio lateral (em milímetros) para cada ângulo ϵ (em radianos)

