

Estudo da refração da luz

Tiago Catatino, Grupo 8, PL7

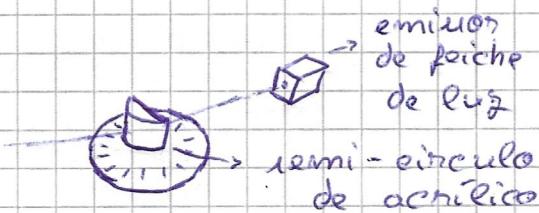
Objetivos:

- Estudar experimentalmente o fenômeno de refração da luz.
- Calcular o índice de refração de um bloco de acrílico.
- ~~Calcular o ângulo de refração entre bloco - ar.~~

Plano:



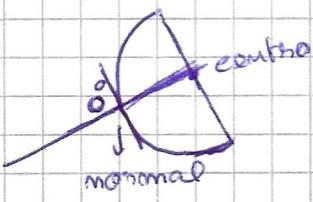
Para descobrir o índice de refração vamos usar uma mesa com disco graduado de forma ~~desconhecida~~ a medir o ângulo de entrada do feixe de luz no acrílico e de saída.



Porque um semi-círculo?

Sempre que um feixe sai ou entra de uma parede perfeitamente circular, o seu ângulo não altera para fazer 0° com a normal da parede. (se estiver apontado para o centro)

Consequência:



- Podemos medir o ângulo ~~entre~~ de saída e saída que era o mesmo dentro do cilindro.

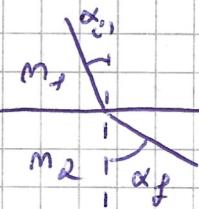
~~Revisão de óptica~~

Teoria:

A mudança do ângulo é dada por:

$$m_1 \sin(\alpha_i) = m_2 \sin(\alpha_f)$$

Índice de Refração



Lei do Snell

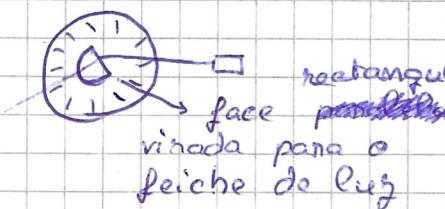
Índice de Refração no ar ≈ 1

Dados:



Montagem 1: refração Ar - Acrílico

$$\frac{m_{\text{acrílico}}}{m_{\text{ar}}} = \frac{\sin(\alpha_i)}{\sin(\alpha_f)}$$



O ângulo crítico desse sistema é:

$$\alpha = \tan^{-1}(1,49)$$

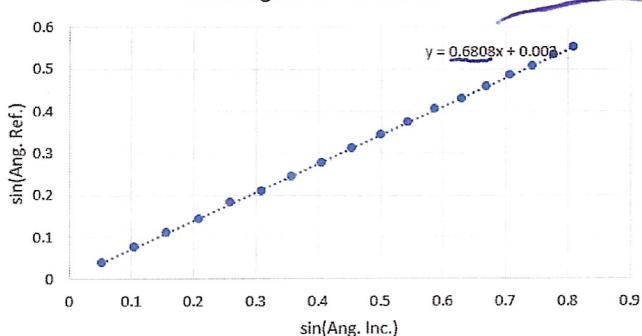
$$\Rightarrow \alpha \approx 56^\circ$$

nf

Logo vamos medir entre o ângulo 0° e 56° e fazer um gráfico com eixo x $\rightarrow \sin(\alpha_{\text{inc}})$, eixo y $\rightarrow \sin(\alpha_{\text{ref}})$, para que ao fazer a regressão linear o declive vai ser ~~maior~~ menor $\frac{m_{\text{ar}}}{m_{\text{acrílico}}}$.

$$(m_{\text{ar}} \approx 1)$$

Montagem 1 - Ar-Acrílico



$$\frac{m_{\text{ar}}}{m_{\text{acrílico}}} \approx 0,68$$

$$\Rightarrow m_{\text{acrílico}} \approx \frac{1}{0,68}$$

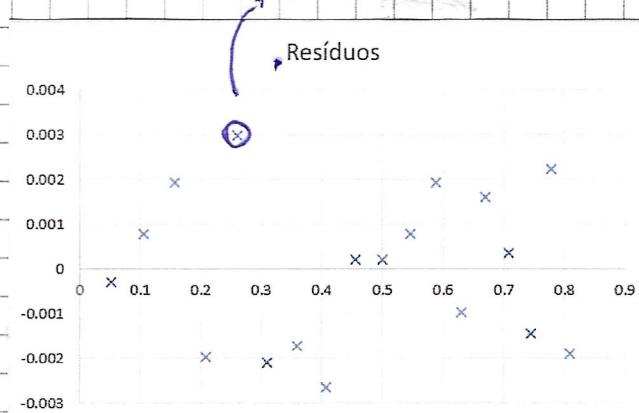
Valor Esperado	Valor Obtido	Erro (%)
1.49	1.46885391	1.4192

~~Plano de ensaio 2: Refração Óptica~~

Medição	Angulo de Incidência (°)	Angulo de Refração (°)	$\sin(\text{Ang. Inc.})$	$\sin(\text{Ang. Ref.})$
1	3	2.2	0.05233441	0.03838668
2	6	4.3	0.10452539	0.07497652
3	9	6.4	0.15642989	0.11146566
4	12	8.2	0.20790565	0.14262476
5	15	10.5	0.25881159	0.18223021
6	18	12.2	0.30900818	0.21131866
7	21	14.2	0.35835786	0.2453003
8	24	16.1	0.40672536	0.27730669
9	27	18.2	0.45397812	0.31232602
10	30	20.1	0.49998663	0.34364998
11	33	22	0.54462479	0.37459609
12	36	23.9	0.58777026	0.40513034
13	39	25.5	0.62930479	0.43049925
14	42	27.4	0.66911454	0.46018726
15	45	29	0.7070904	0.48479656
16	48	30.5	0.74312829	0.50752484
17	51	32.3	0.77712944	0.5343383
18	54	33.5	0.80900066	0.55192261

Tabela do gráfico

$\sin(\text{Ang. Inc.})$	$\sin(\text{Ang. Ref.})$	Declive (PROJ.LIN)	Constante (PROJ.LIN)	Resíduos
0.05233441	0.03838668	0.680802899	0.003043483	-0.000286227
0.10452539	0.07497652			0.000771847
0.15642989	0.11146566			0.001924253
0.20790565	0.14262476			-0.001961496
0.25881159	0.18223021			0.002987049
0.30900818	0.21131866			-0.002098491
0.35835786	0.2453003			-0.001714252
0.40672536	0.27730669			-0.002636595
0.45397812	0.31232602			0.000212918
0.49998663	0.34364998			0.00021415
0.54462479	0.37459609			0.00070475
0.58777026	0.40513034			0.001931159
0.62930479	0.43049925			-0.000976759
0.66911454	0.46018726			0.001608661
0.7070904	0.48479656			0.000363885
0.74312829	0.50752484			-0.001442544
0.77712944	0.5343383			0.002222837
0.80900066	0.55192261			-0.001890869



β maior devido à refracção um erro de $\frac{0.002987 \times 100}{0.48223} \approx 1,64\%$

Podemos concluir então que todos os pontos estão num intervalo confortável da regressão linear, o que por sua vez assegura a autenticidade do resultado.

Usando apenas uma medição vamos calcular o índice de refracção e a sua incerteza: * ver última página

$$\text{Incógnita} = \frac{\text{Resíduo}}{\text{Declive}} = \frac{\text{Resíduo}}{\text{Projeto linear}} = \frac{\text{Resíduo}}{\text{Projeto linear}} = \frac{\text{Resíduo}}{\text{Projeto linear}}$$

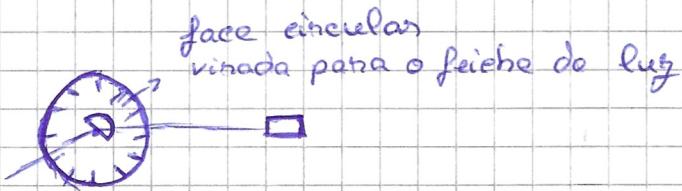
$$\text{Incógnito} = \sin(30^\circ) = 1,45$$

$$\text{Incógnito} = \sin(22,1^\circ)$$

$$\text{Incógnito} = 1,45 \pm 0,04$$

$$\text{Incógnito} = 0,64$$

Montagem 2: refracção Acrílico - Ar



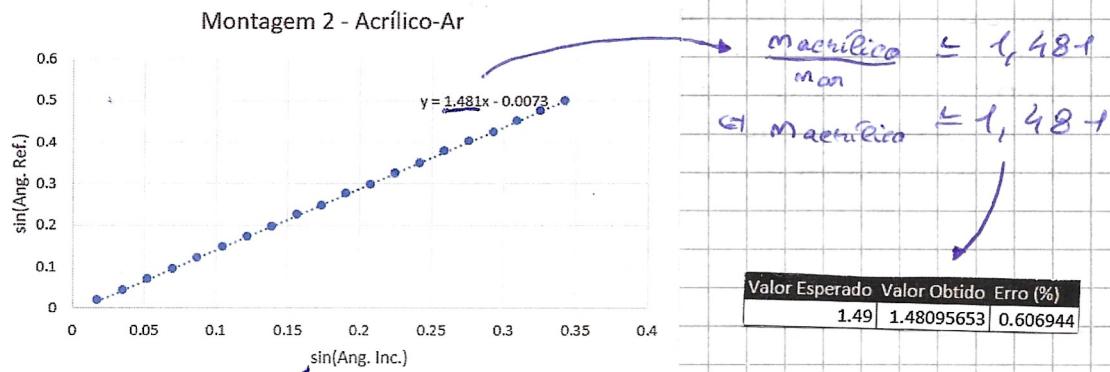
O ângulo crítico deste material é: $\alpha = \tan^{-1}(\frac{1}{1,49})$

$$\Leftrightarrow \alpha \approx 34^\circ$$

Medições têm de estar entre 0° e 34°

Tal como na montagem 1, vamos fazer $\sin \alpha$ para os ângulos obtidos e fazer o gráfico com eixo x $\rightarrow \sin(\text{Ang. Inc.})$, eixo y $\rightarrow \sin(\text{Ang. Ref.})$, mas desta vez ao fazer a regressão linear temos que a declive = $\frac{\text{mátria}}{m_{\text{ar}}} = \frac{\text{mátria}}{-1}$.

$$(m_{\text{ar}} \approx -1)$$



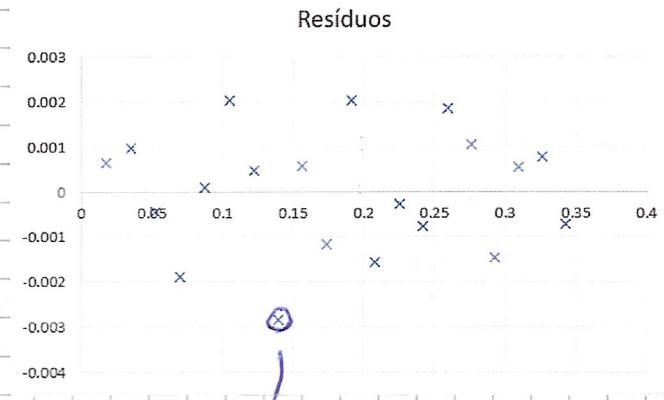
Medição	Angulo de Incidência (°)	Angulo de Refração (°)	$\sin(\text{Ang. Inc.})$	$\sin(\text{Ang. Ref.})$
1	1	1.1	0.017451892	0.019196876
2	2	2.6	0.034898468	0.045361651
3	3	4	0.052334414	0.06975442
4	4	5.4	0.06975442	0.094105546
5	5	7	0.087153179	0.121865767
6	6	8.6	0.104525392	0.149530966
7	7	10	0.121865767	0.173643108
8	8	11.3	0.139169023	0.19594044
9	9	13	0.156429889	0.224944534
10	10	14.4	0.173643108	0.248682708
11	11	16.1	0.190803437	0.277306691
12	12	17.4	0.207905649	0.299032246
13	13	19	0.224944534	0.325558907
14	14	20.5	0.241914903	0.350197497
15	15	22.2	0.258811587	0.377830207
16	16	23.7	0.275629439	0.401936606
17	17	25.1	0.292363336	0.424187723
18	18	26.8	0.309008182	0.450865227
19	19	28.4	0.325558907	0.47561135
20	20	29.9	0.342010469	0.498474397

Tabela do gráfico

$\sin \alpha$ $\sin \alpha$

sin(Ang. Inc.)	sin(Ang. Ref.)	Declive (PROJ.LIN)	Constante (PROJ.LIN)	Resíduos
0.017451892	0.019196876	1.480956531	-0.007309108	0.000660491
0.034898468	0.045361651			0.000987645
0.052334414	0.06975442			-0.000441465
0.06975442	0.094105546			-0.00188861
0.087153179	0.121865767			0.000104806
0.104525392	0.149530966			0.002042513
0.121865767	0.173643108			0.000474313
0.139169023	0.19594044			-0.002853725
0.156429889	0.224944534			0.000587776
0.173643108	0.248682708			-0.00116608
0.190803437	0.277306691			0.002044202
0.207905649	0.299032246			-0.001557875
0.224944534	0.325558907			-0.000265062
0.241914903	0.350197497			-0.000758851
0.258811587	0.377830207			0.001850604
0.275629439	0.401936606			0.001050496
0.292363336	0.424187723			-0.001480562
0.309008182	0.450865227			0.000546649
0.325558907	0.47561135			0.000781868
0.342010469	0.498474397			-0.000719133

Maior
Desvio



Maior
Desvio

O maior desvio representa um erro de $0,00285 \times 100 = 0,285$
 $\approx 1,46\%$

Tal como na 1ª montagem, tendo que o maior desvio representa um erro inicialmente pequeno, podemos concluir que todos os pontos estão num intervalo confortável da regressão linear, o que assegura a autenticidade do resultado.

Conclusão

A experiência foi bem sucedida, tendo obtido erros de 1,42% na 1ª montagem e 0,61% na 2ª montagem, e embora não tenhamos tido em conta as incertezas de leitura, eu diria que os erros que tivemos são resultado da incerteza, que é de $\pm 0,5^\circ$.

Também reparámos que à medida que ~~aproximámo-nos~~ da ângulo crítico, o fecho de olhos brancos separava-se em 3 fechos de cores vermelho, verde e azul. O que podemos concluir disto é que o índice de refração é diferente para cores diferentes, mas muito próximo.

Questões

1. Assumindo que a incerteza de medição dos ângulos é constante, a incerteza dos pontos do gráfico de $\sin \theta$, em função de $\sin \theta$, também o será?

R.: Temos que a incerteza de $\sin \theta$ é:

$$\begin{aligned} u(\sin(\theta)) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \sin(\theta)}{\partial \theta}\right) u(\theta)^2} \\ &= |\cos \theta| \underbrace{u(\theta)}_{\text{constante}} \\ &\quad \text{mas } \cos \theta \text{ é constante} \end{aligned}$$

Logo, a incerteza dos pontos não vai ser constante e vai depender dos ângulos que os pontos representam.

2. Pode utilizar a incerteza da declive para a incerteza do índice de refracção obtido experimentalmente?

R.: Não, tendo que a incerteza da declive não toma em conta a incerteza de cada ponto individual.

3. A partir da observação do que acontece numa anta de obter a reflexão total, o que pode concluir sobre a relação entre o índice de refracção na vermelha e no azul?

R.: Como referi na conclusão da experiência, reparando que há medida que se aproximava do ângulo crítico, o feixe de luz branca separa-se em feixes de vermelho, azul e verde, levando à conclusão de que o índice de refracção na vermelha é diferente do que no azul.

$$*\sin(\theta \pm \alpha) = \sin \theta \cos \alpha \pm \sin \alpha \cos \theta \quad \alpha = 0,5^\circ$$

$$30^\circ \rightarrow 20,1^\circ = \sin \theta \cos(0,5^\circ) \pm \cos \theta \sin(0,5^\circ)$$

$$m_{\text{azul}} = \frac{\sin(30^\circ \pm 0,5^\circ)}{\sin(20,1^\circ \pm 0,5^\circ)} = \frac{0,500 \pm 0,008}{0,344 \pm 0,008}$$

$$\begin{array}{c} \rightarrow 1,443 \\ \rightarrow 1,398 \\ \rightarrow 1,362 \\ \rightarrow 1,464 \end{array} \Rightarrow 1,455 \pm 0,037$$

média