

# 9 - Medidas ópticas e Propriedades da Luz

Data = 26/10

Data execução =

- Objetivos:
  - Estudar técnicas de medição baseadas na medição da luz, medindo a velocidade da luz no arco e no arco.
  - Medir o grau de polarização de uma fonte. Verificar a lei de Malus
  - Estudar os efeitos da variação intercaladora numa montagem de polaríscopos - cruzada.

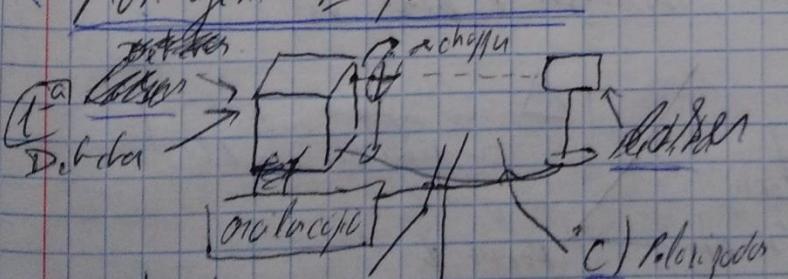
- Conceitos técnicos:

• Lei de Malus:  $P(\theta_{\text{ar}}) = P_0 \cos^2(\theta_{\text{ar}} - \theta_p)$

• Lei a verificar:  $P(\alpha\theta, \beta) = \frac{1}{2} P_0 [\cos^2(\Delta\theta) + \cos^2(2\beta - \Delta\theta)]$

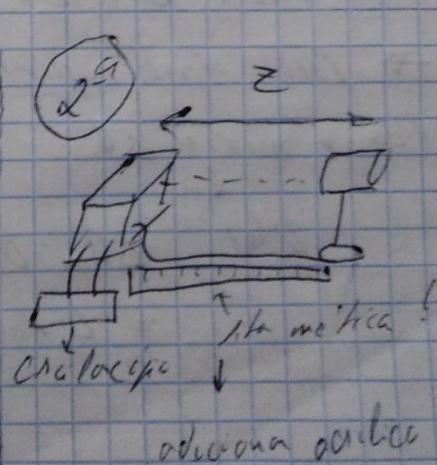
$$C = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \left\{ \begin{array}{l} \cdot \Delta\theta_{\text{ar}} = -n_0 (\ell_2 - \ell_1) \\ \cdot \Delta\theta_{\text{ar}} - \Delta\theta_{\text{análise}} = (n_0(n-1)) \end{array} \right. , \quad n = \text{índice refratário das lentes}$$

- Montagens Experimentais



a) chopper  
= Polaizador

b) Polaríscopo  
= Analisador  
+ Chopper



c) Polaríscopo  
= Analisador  
+ Chopper

## Procedimento

(2H) • 1<sup>a</sup> Parte:  $\Delta$  Ver se o modo de ressonância é constante!

$\Delta$  Ligar equipamento no inicio da experimentação  
tempo  $\approx 30\text{ min}$

• Fazer montagem (a)  $\rightarrow$  Schaffner  $\approx 100\text{ Hz}$

$\hookrightarrow$  Fazem da harmonica  
da frequência da placa de  
AC típica  $\approx 110\text{ Hz}$

F-F-T-1-1 C-C-P-D • Fazer vestimento  $-50^\circ \leftrightarrow 50^\circ$

Determinar  $\pm$  o ângulo  
de intensidade máxima!

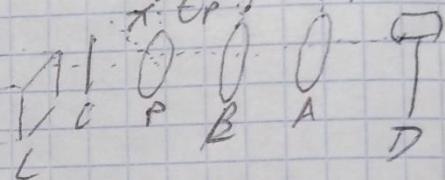
• Ver FFT no osciloscópio  $\rightarrow$  ver se o modo de ressonância:  $U_{AB} = 20 \log \left( \frac{V_{AB}}{V_{ref}} \right)$

L-F-F-T-1 L-C-P-A-D • Montagem (b)  $\rightarrow$  Variação  $\beta_A$ :  $\theta_p$  fixo para o modo

$$\text{pequenos } \sqrt{2} \cdot V_{app} \propto P \Leftrightarrow \text{var. fixas gáss} \\ \theta_A = \theta_p - \frac{\pi}{2} \Rightarrow P=0$$

H-F-F-T-1 L-C-P-A-D • Montagem (c)

• Procurar ângulo formado pelo gás que  
varia  $\theta_p$  não muda  $P$  ( $\approx \beta_0 = 55^\circ$ )  
 $\downarrow$  polarizações circulares!



• Fixar  $\beta \approx 65^\circ$ , varia  $\theta_A$ , modo  $V_{app}$ . Encontrar  $\theta_p$  que maximiza  $P$

## (2H) 2<sup>a</sup> Parte

• Montagem 2: modo  $\omega = f = 60\text{ MHz}$  }  $\Rightarrow \Delta z < 5\text{ m}$   
 $\Delta \phi = 0.1\text{ rad}$  }

$\Rightarrow$  Relâmpago rejeita forma  
de onda de ressonância

$\Rightarrow$  Saturação = Evitar!

temperatura mala

$\downarrow$   
não ter um problema  
de não-dissipação

$\Rightarrow$  Variação  $\epsilon$  dentro do gás  $5\text{ m}$

Medir  $\epsilon$  e  $\Delta \phi$  na oscilação  $(2 \times DC)$

$\Rightarrow$  Para alguma experimentação, entoduzir o gás de  
condensação e medir  $\Delta \phi$

$$\Delta \phi_{tot} = \Delta \phi_{air} - \Delta \phi_{gas}$$

$$= L \cdot \mu_0 (n-1)$$

$\Delta$  não significa medir  
o campo elétrico!

Número de  
medidas depende  
do tempo que se tem

# Nótese Distorção a exibição

→ Disponibilidade de um dos trigger na osciloscópio

→ Capturamos via o siso na FFT de um chester montado em circuito harmônico

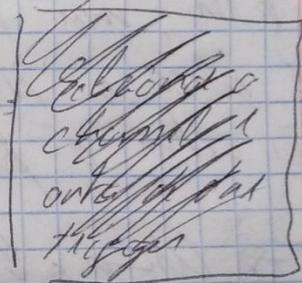
→ Sist. transmissor máxima ~  $60^\circ$

→ Enganemos no comutador a varia o polarizado com a vez do Acelerador

→ Existe um MO de Polarizar alternado a não contínuas com o ângulo de polarização com os ellos no perpendicular com o fundo destr.

→ ~~Existe um MO de Polarizar alternado~~

→ Ráfimo em média



→ ~~Existe um MO de Polarizar alternado~~ Observar o efeito da bobina reforçadora, o máximo volta como uma elipse concêntrica / combate a pressão da lente



Medidas para  $60^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $120^\circ$  e  $70^\circ$

$60^\circ$   
 $50^\circ$   
 $120^\circ$   
e  $70^\circ$

} Excalha  
do  
fim  
muito  
desfechada

Use - os polegadas  
para a fundida

→ Nota: Conhecer o problema de trigger e ainda  
conhecermos trigger mais medido para ceifar o efeito

Espaço da Parte:

→ Fita metálica infiltra muita água de  
Pavilhão; para a maior comodidade e baixa dificuldade  
em recular a fita utilizada no profundo entre  
entre a bateria e o detector

→ Podíamos ter feito muita melhor mas ficamos  
sem tempo.

→ Observar o deslocamento linear

→ Não medimos a distância entre o bloco e  
o detector, mas no final verificamos a distância  
do bloco em relação ao detector e vimos que  
não havia a fita tal como era esperado

→ Utilizou bloco a  $\sim 70$  cm do detector

## Análise de Dados e Resultados

### • Análise FFT

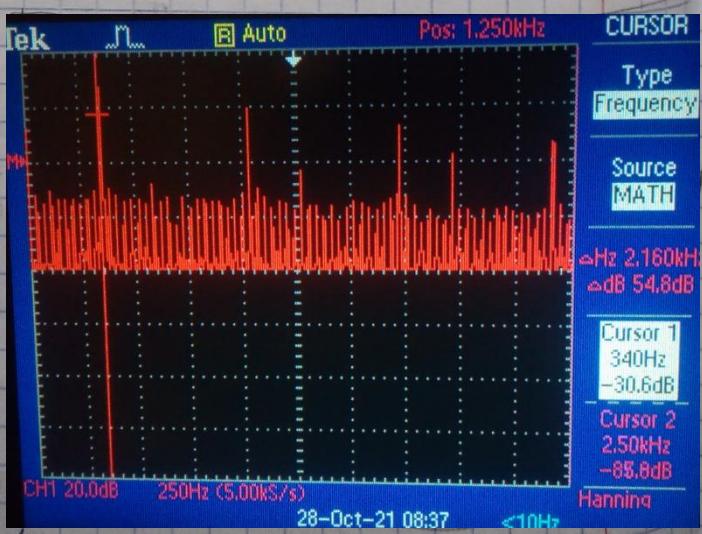
Colocaram o chester com  $f \approx 350$  Hz

→ Confirmaram no analorador

→ Podemos ver na imagem

que temos o pico na frequência  
 $\sim 350$  Hz tal como seria de  
esperar.

Também vemos pico igualmente  
espacados dentro → harmônico e próximo da  
dominância da onda quadrada



## • Verificação da Lei de Mollus

- Fixemos o rotimento de  $-90^\circ$  a  $90^\circ$  e obtemos a voltagem máxima de  $V_{pp} \sim 60^\circ$
- Não fomos com maior resolução = Ponto de mínimo a Voltagem de  $V_{pp}$  é muito frígido.

Fixamos  $\theta_p = 60^\circ$   
para toda a experimentação

→ No gráfico podemos ver os dados experimentais =

T → com trigger

NT → sem trigger

→ Incerteza / incóm da variação da indicação obtida

→ Fixar o ajuste

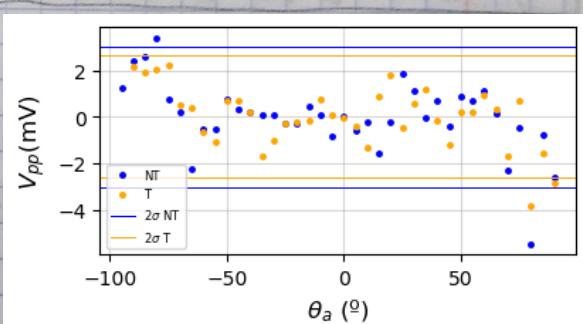
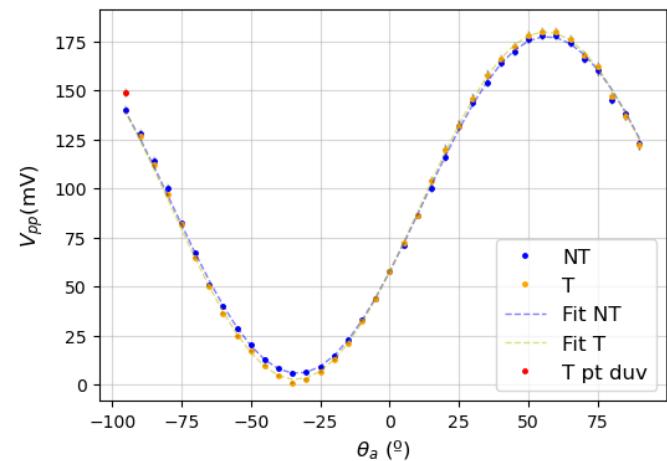
$$V_{pp}(\theta_A) = V_0 \cos(\theta_p \cdot \theta_A + \phi) + b$$

→ Usar o conví fit do módulo scipy do python para obter os coeficientes

→ Não conseguimos obter todos os coeficientes da incógnita

ficam aqui indicados apenas de forma frívola.

Fixar  $\theta_A = 60^\circ$   
( $\theta_p$ )



Poderemos ver que existem  
gráficos de retíduos entre  
os coeficientes aletórios e  
 $< 2\sigma$  ( $\sigma \rightarrow$  variância  
dos resultados)

	$V_0$ (mV)	$c$ (rad)	$b$ (mV)
NT	171	-6.3	5.7
T	177	-6.9	2.6

Não vemos nenhuma tendência no gráfico de resultados  $\rightarrow$  A lei de Malus é aplicável aos nossos dados tal como esperávamos.

### Lâmina Retardadora

$\rightarrow$  Estudamos o efeito da lâmina retardadora



$\rightarrow$  Ajuste de termo o

polarizador e o analisador

$$\text{perpendiculars} \rightarrow \theta_p - \theta_A = \frac{\pi}{2}$$

Quando colocavamo a lâmina retardadora a ver um sinal

$\uparrow$  configuração cruzada.

$\rightarrow$  Quando fizemos este círculo; vimos incremento muito grande e este desapareceu medidos.

$\curvearrowleft$  Lâmina introduz uma diferença de fase nas componentes de polarização da luz  $\rightarrow$  Polarização elástica em círculo.

$\rightarrow$  Vamos o ângulo  $\beta$  e em seguida calcularmos o ângulo de analisadores

$\beta$  varia

analisador

em círculo

$\beta$  varia

Polarização

lâmina

Sinal constante

calculado

$\beta$  varia

lâmina

Plano do

analisador

máximo sinal

minimo sinal

→ Obteremos polarizadores circulares para

$$\beta \approx 10^\circ, 90^\circ, 175^\circ$$

• Vontade

$$50^\circ \text{ em } 90^\circ \checkmark$$

é o óptimo!

Voltar sobre a óptica circular

no Lâmina → transductor rotativo!

→ Para verificarmos a orientação da polária laminar

com a posição do analisador e da lâmina ( $\theta_a$  e  $\beta$ ) fixas

$\beta$  em  $60^\circ, 50^\circ, 120^\circ, 70^\circ$  e variando  $\theta_a$

→ Fazemos um ajuste de  $b$  [ ]

$$V_{opp} = V_0 \left[ \cos^2(\alpha) + \cos^2(\alpha - 2\beta) \right]$$

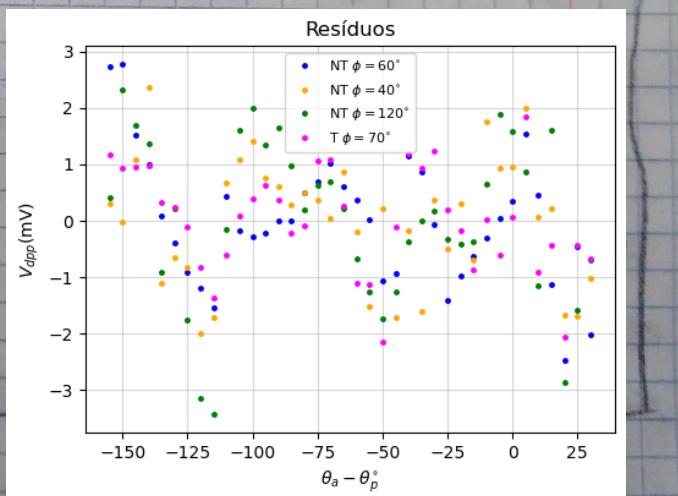
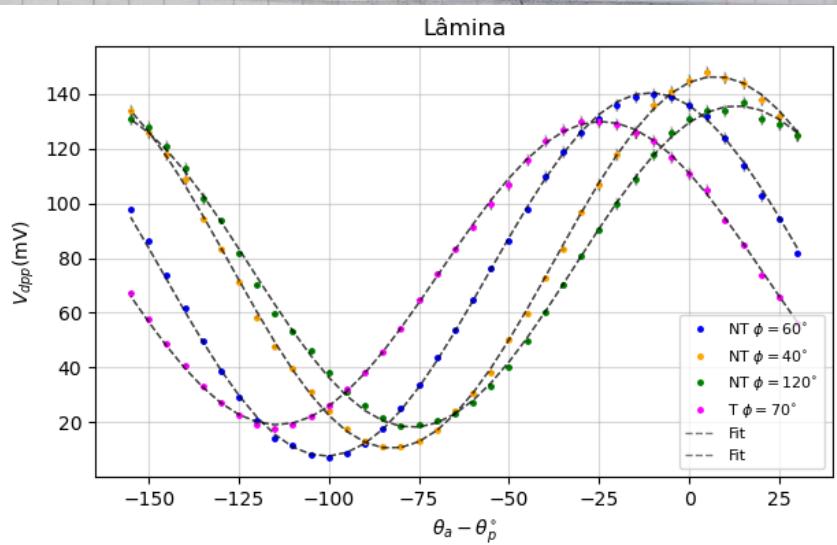
→ Vimos que os dados seguem bem a função

→ Gráfico de Resíduos com janela eletrônica ✓

→ Tomarão os resíduos

subtrairam-se iguais ( $1\% \sim 10\%$ )  
parte da volta  
incerteza experimental medida

→ Como o trigger não faz  
significativo.



Poderemos concluir que  
as nossas janelas fazem a  
função esperada!

→ Nós só conseguimos alterar isso, mas só pode ser ajustado no bloco.

→ Obtermos os resultados

$\phi$	$\beta_{\text{ext}}$	$V_0$ (mV)	$b$ (mV)
60	79	71	0,037
40	97	70	0,12
70	65	83	0,18
120	103	65	-0,11

→ Não há paralelo  
nota!

→ Concordante

↑ próximo de zero relativamente a  $V_0$

→ Seria equivalente  
 $\beta \approx 90^\circ$

Apesar disso, comprovamos a expressão teórica

• Velocidade da luz no ar e índice de refração do arco

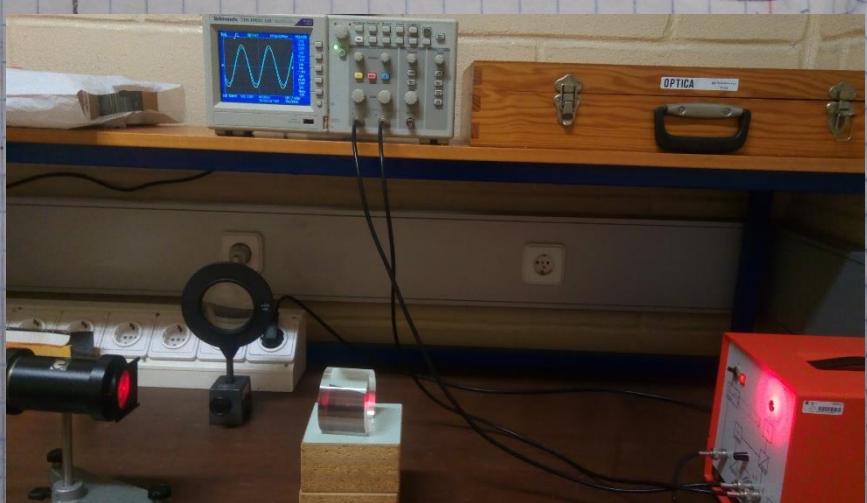
$$\text{Uso } f = 60 \text{ MHz}$$

→ Não temos necessidade de saber o ângulo fixamente para obtermos refracção

→ Não usamos a lente

→ Fazemos o nível

→ Altera a base  
Cá vêmos!



Medimos vários comprimentos do bloco e chegamos a  $L = (5.013 \pm 0.002) \text{ cm}$

→ Obteremos os seguintes dados

→  $\Delta\phi$  é dado diretamente  
pela oscilometria ( $u(\Delta\phi) \approx 0.1^\circ$ )

→  $\Delta z$  é medido com  
uma régua métrica:

→ Fixamos o  
cabo no ponto  $\approx 30\text{cm}$

e medimos a pro  
jeção das volutas para  
calcular a distância

$$u(\Delta z) = 1\text{ cm}$$

→ A1 horário de 8:00 não  
são significativas

→ Fixamo o gráfico linear no

$$\text{Python} \quad \Delta\phi = -\frac{2\pi l}{C} \Delta z \Rightarrow$$

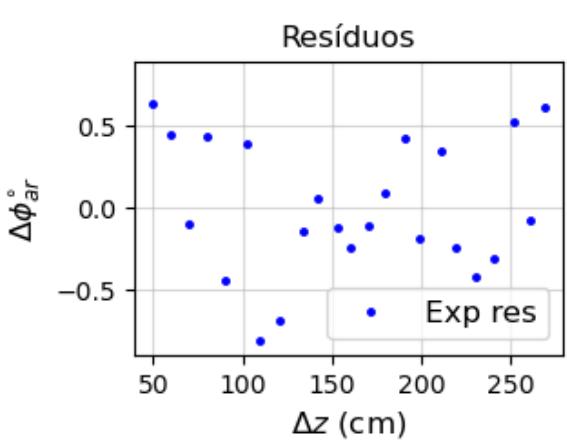
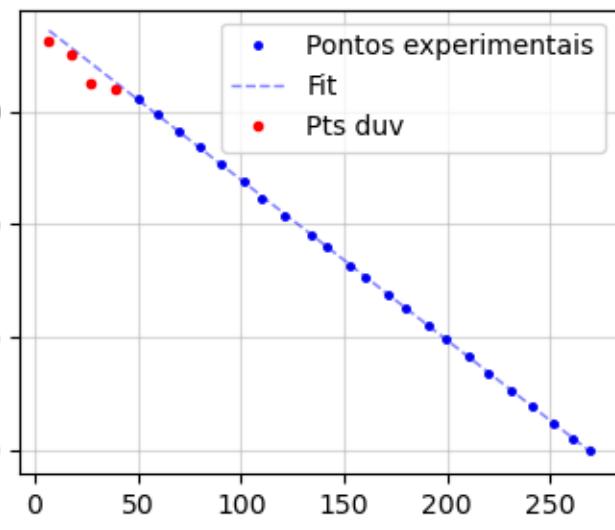
Obtivemos a matriz de

ajuste

$$\rightarrow m = -0.712 \pm 0.001 \text{ cm}^{-1}$$

$$\rightarrow b = 50.8 \pm 0.2 \text{ rad}$$

$$\rightarrow R^2 = 0.99993$$



$$b \approx 0 \\ m = -\frac{2\pi l}{C} \Leftrightarrow C = \frac{2\pi l}{m}$$

↓

cont. Obtemos que a  
incerteza de  $P$  é  
de  $\approx 1\%$ .

$$u(C) = C \cdot \frac{u(m)}{m}$$

→ Pecas Resíduos:

→ Refitamos alguns pontos da amostra  
que não seguem a tendência.

→ Estão a clectrizar em torno de 0 ✓

→ Insuficiente incerteza experimental ✓

✓ Verifico se é bastante

bem o comportamento teórico.

Com os dados do óculo obtidos

$$C_{\text{ref}} = (3,036 \pm 0,006) \cdot 10^8 \text{ m}^8 \text{ s}^{-1}$$

O que corresponde a um erro relativo de 1% e incerteza relativa 0,2%.

→ Para calcular o índice de refração do óculos de acrílico

obtido

$$\Delta\phi_{\text{ar}}^{\circ} = \Delta\phi_{\text{acrilico}} + \frac{C_{\text{ref}}}{c} \cdot (n-1)$$

$$\text{Logo } \Delta\phi_{\text{ar}}^{\circ} = m \Delta\phi_{\text{acrilico}} + b$$

$$\rightarrow n = \frac{b + c}{\Delta\phi_{\text{ar}}} + 1 ; \quad m = 1$$

→ Obtivemos:

$$m = 1,001 \pm 0,002$$

$$b = 1,8 \pm 0,1$$

$$\lambda^2 = 0,99993$$

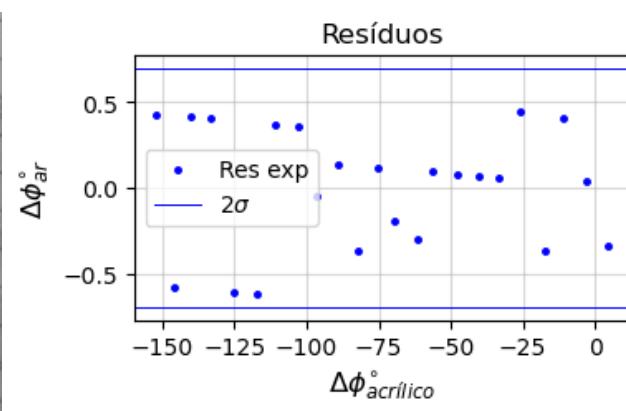
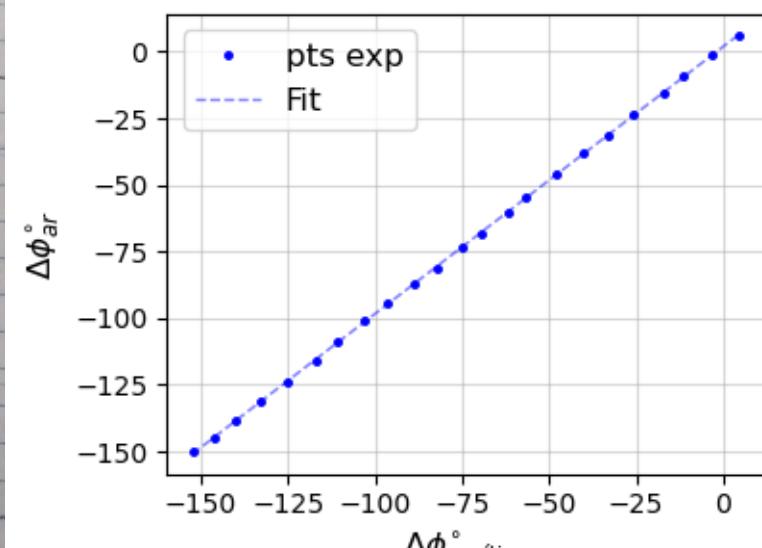
↓

$$n = 1,595 \pm 0,001 \\ (\pm 0,1\%)$$

→ Novamente juntamos  
as tendências:

Exponente linear  
muito

adição  
abais do incerteza experimental.



→ Salendo que estamos a trabalhar com um óptico  
tomo como referência  $N_{\text{teórico}} = 1,55$  e portanto  
a nossa medida é bastante exacta.

→ Sem mais conhecimento do material não podemos  
concluir muito.

→ A velocidade de aceleração é dada por  $C_a = \frac{C}{n}$

## Discussão de Resultados e Conclusão

Neste trabalho conseguimos entender o funcionamento  
dos polarizadores e confirmar a lei de Malus com boa  
precisão.

Conseguimos ainda entender o efeito da luminosidade  
caracterizando várias curvas correspondentes ao ângulo de luminosidade  
e de aceleração com bastante exactidão face ao  
modelo teórico proposto.

~~Na determinação com uma certeza de 1% e preciso~~  
~~de incerteza~~

Determinamos a velocidade de  $C_a$  com um erro de 1%  
e uma incerteza de 0,2% o que é muito bom.

Determinámos um índice de refração com bastante exactidão  
correlativamente com o que se encontra na literatura e  
uma incerteza de 0,1% o que indica uma óptima  
precisão.

→ Podemos concluir assim que a obediência foi bem  
sucedida!