

Relatório 6 - Princípio da Incerteza

° Resumo

Ao realizar todos os tipos de medida, os experimentadores interagem com o sistema, gerando perturbações significativas no limite microscópico. Deste problema surge o princípio da incerteza de Heisenberg, que foi verificado de forma bastante satisfatória, considerando o laboratório experimental e condições não ideais, porém reais.

° Introdução

Ao estudar física clássica, nos deparamos com leis e equações determinísticas, como por exemplo as leis de Newton. No entanto, na física quântica utilizamos amplamente a análise estatística dos sistemas e, de acordo com Heisenberg e Bohr, a interpretação probabilística é fundamental.

Quando realizamos alguma medição, o observador inevitavelmente interage com o sistema estudado. No caso dos sistemas macroscópicos, as grandes massas acabam não sendo afetadas, porém, no âmbito microscópico essa interação gera consequências que afetam os resultados.

Dessa forma, o princípio da incerteza de Heisenberg estabelece um limite para as precisões de medida de posição e momento das partículas quânticas. A limitação dessas medidas é dada por:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \frac{\hbar}{2} \quad (1)$$

tal que Δp_x é a incerteza do momento e Δx é a incerteza da posição no mesmo instante e $\hbar = \frac{h}{2\pi}$



A relação (1) vale correspondentemente às demais componentes de um sistema. Há também a distinção deste princípio relacionada à energia:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2 \quad (2)$$

Em que ΔE é a incerteza do conhecimento da energia do sistema e Δt a incerteza relacionada ao intervalo de tempo.

Com esses conhecimentos, avaliamos a validade deste princípio, seguindo os procedimentos ~~seus~~ ~~relacionados~~ relacionando tais grandezas.

• Materiais e Métodos

- Usando ~~uma~~ um gerador de função a 200 Hz e um microfone, registramos um pacote de 1 s.
- Com esse dado, exportamos para a análise de forma a analisar a amplitude em função do tempo.
- Aplicamos a Transformada de Fourier nesse sinal para visualizar a amplitude em função da frequência.
- Encontrando a largura de meia-~~ba~~ altura (FWHM - full width at half maximum), e usamos esse valor como $\Delta \nu$, e encontraremos $\Delta E = \hbar \Delta \nu$.
- Com o valor ΔE e o intervalo medido Δt , verificamos se obedece a relação (2).
- Repetimos todos os passos anteriores para intervalos de até 50 s e montamos uma tabela com os resultados encontrados.
- Da mesma forma, observamos o comportamento das mesmas variáveis com diapasões no lugar do gerador de função.

- Em seguida, observamos um sistema diferente, utilizando ondas eletromagnéticas.

- Dispusimos um laser antes de uma fenda fina para observar um pequeno padrão de difração.

- Variando a largura da fenda com o auxílio de um micrômetro, medimos a largura do máximo central (fixe) e verificamos a relação (1) de acordo com os parâmetros medidos, sendo a largura da fenda, a incerteza da posição e a largura do máximo central a incerteza de momento.

Resultados

Os resultados observados foram:

↓

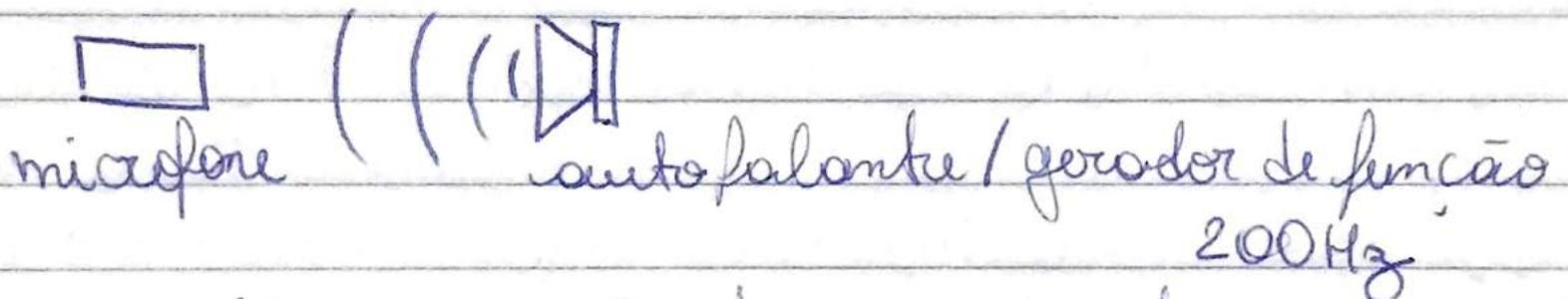
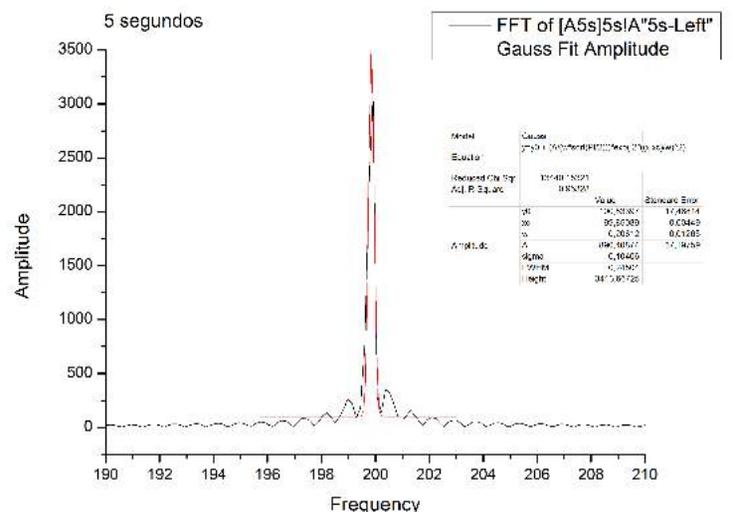
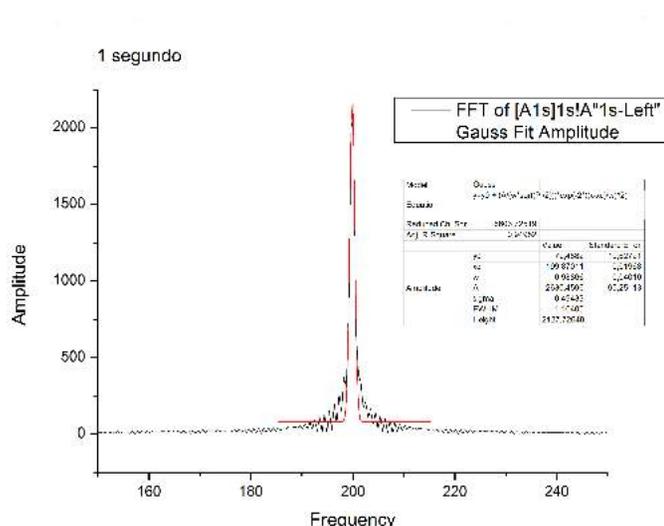
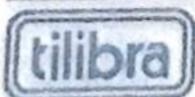
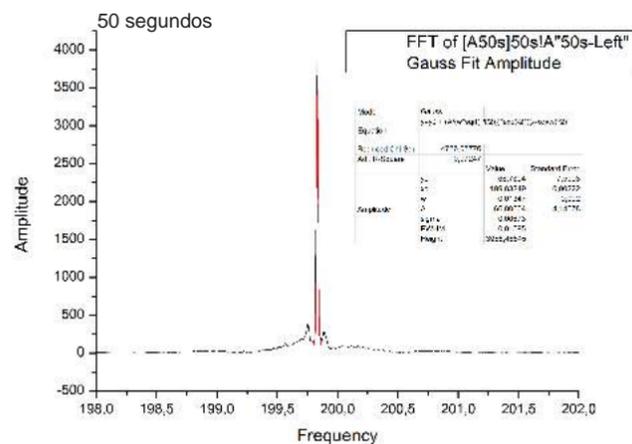
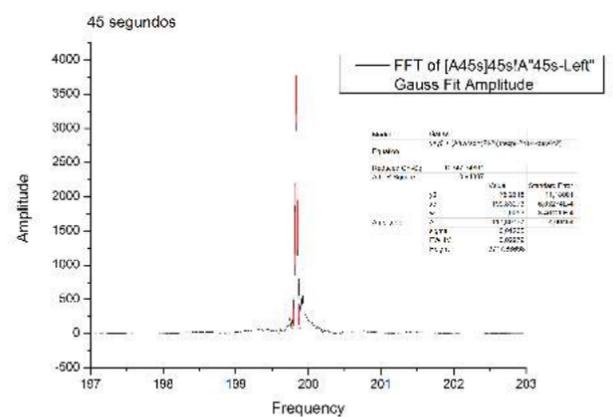
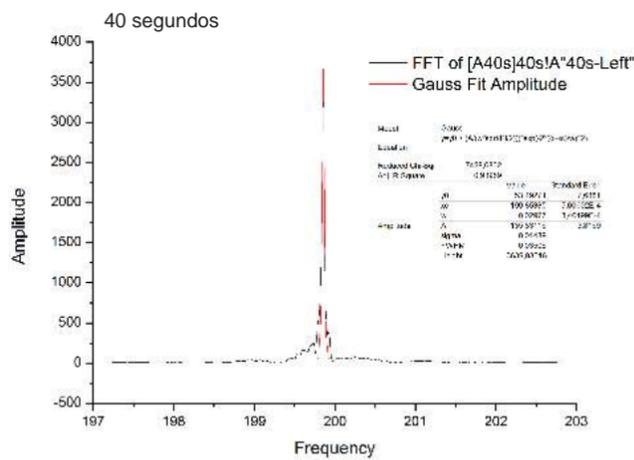
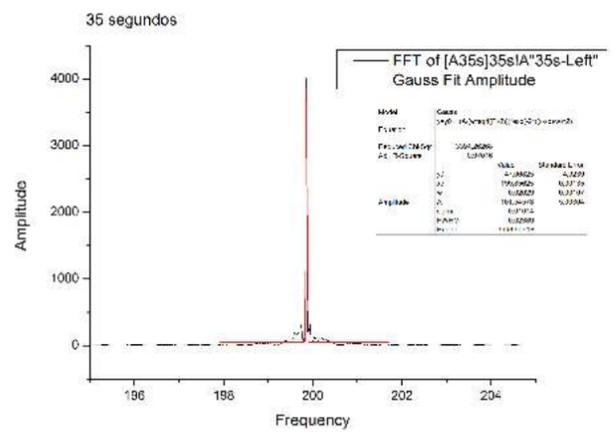
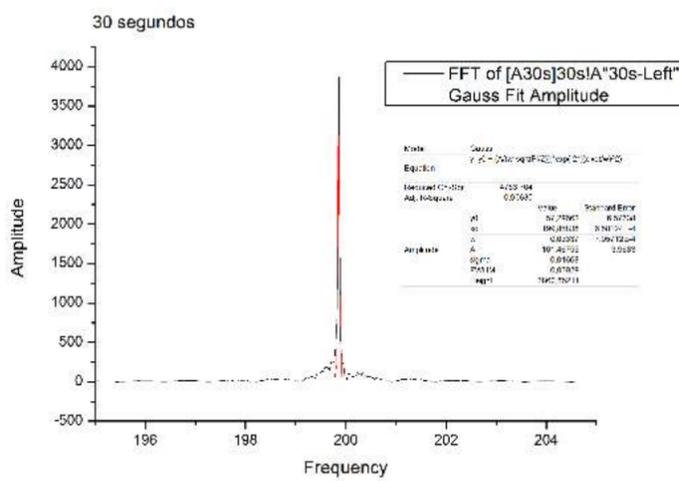
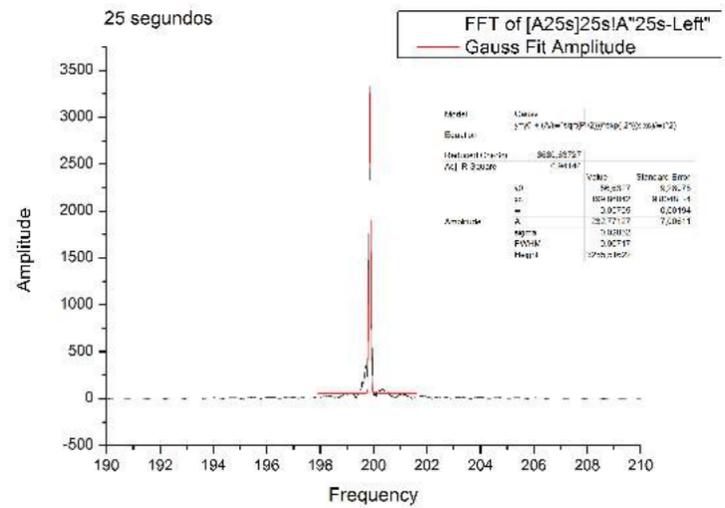
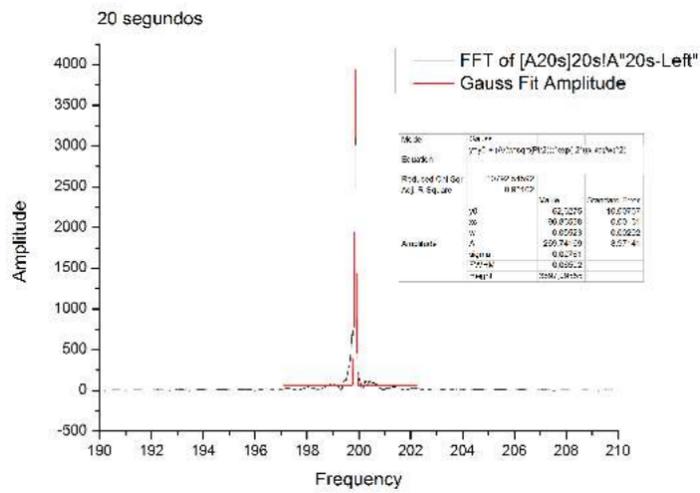
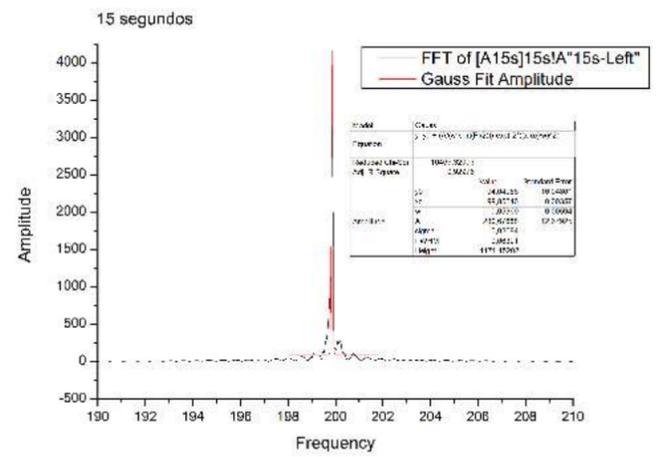
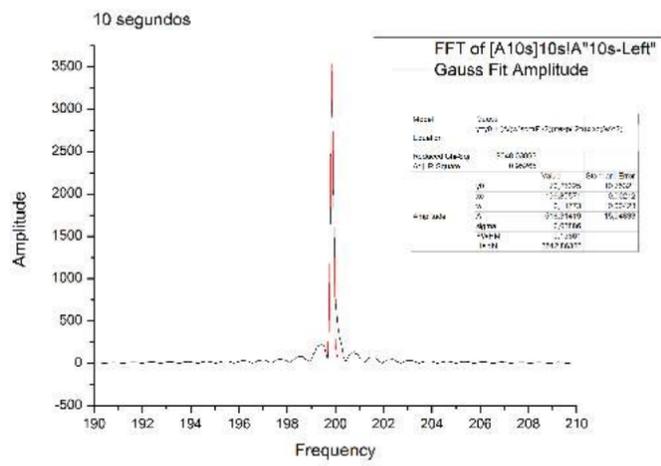


figura 1: diagramação do experimento realizado com o gerador de função

2 e 3) Após a coleta e a transformada de Fourier, obtemos os gráficos a seguir para cada período de tempo medido:





gráficos de 1 a 50: valores observados após a transformada de Fourier (Amplitude x Frequência)

Como esperado, o pico de frequência está em 200 Hz, que é o valor emitido pela fonte.

~~Além disso, os gráficos~~

Em todos os gráficos a função que melhor se ajustou ao comportamento foi a função gaussiana, para obtermos com precisão o valor da largura de meia altura.

4) Com os valores obtidos pela curva, calculamos $\Delta E = h \Delta \nu$ (2) e obtemos a seguinte tabela:

Δt (s)	$\Delta \nu$ (Hz)	ΔE (J)	$\Delta E \Delta t$	$\hbar/2$
1	1,164	7,71266E-34	7,71266E-34	5,2728E-35
5	0,245	1,62337E-34	8,11685E-34	5,2728E-35
10	0,139	9,21014E-35	9,21014E-34	5,2728E-35
15	0,065	4,3069E-35	6,46035E-34	5,2728E-35
20	0,063	4,17438E-35	8,34876E-34	5,2728E-35
25	0,067	4,43942E-35	1,10986E-33	5,2728E-35
30	0,039	2,58414E-35	7,75242E-34	5,2728E-35
35	0,024	1,59024E-35	5,56584E-34	5,2728E-35
40	0,035	2,3191E-35	9,2764E-34	5,2728E-35
45	0,029	1,92154E-35	8,64693E-34	5,2728E-35
50	0,016	1,06016E-35	5,3008E-34	5,2728E-35

Tabela 1: valores experimentais obtidos com as ondas mecânicas.

Validamos assim o princípio da incerteza de Heisenberg, visto que os valores calculados para $\Delta E \Delta t$ são cerca de uma ordem maior que o valor de $\hbar/2 = \frac{\hbar}{\sqrt{4\pi}}$.

5) Para os diapásões, cortamos o som gravado de amplitude variável, de forma a usar um pacote de 0,5 s. Aplicando a transformada de Fourier, obtemos os gráficos:

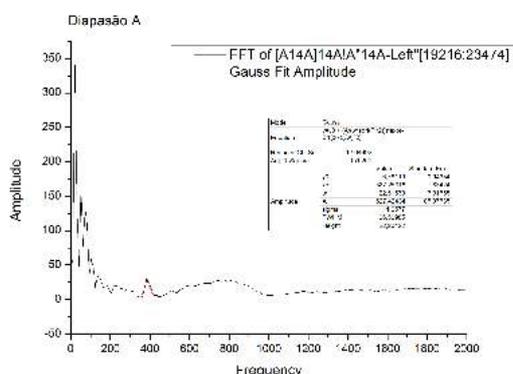


gráfico 12: amplitude em função da frequência para o diapásão A.

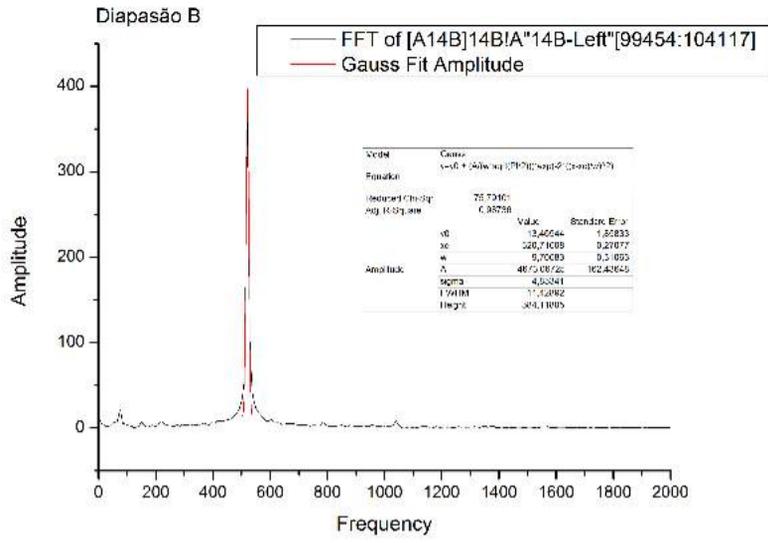
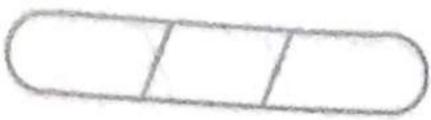


gráfico 13: Amplitude em função da frequência para o diapasão B.

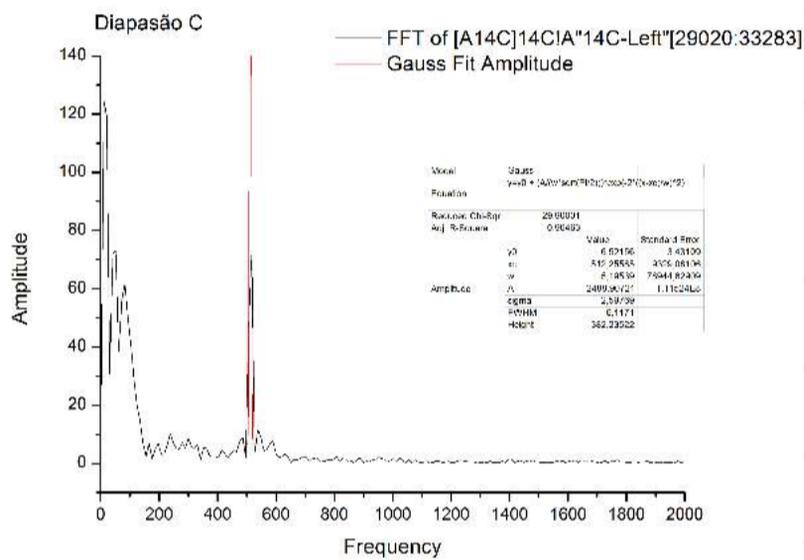


gráfico 14: Amplitude em função da frequência para o diapasão C.

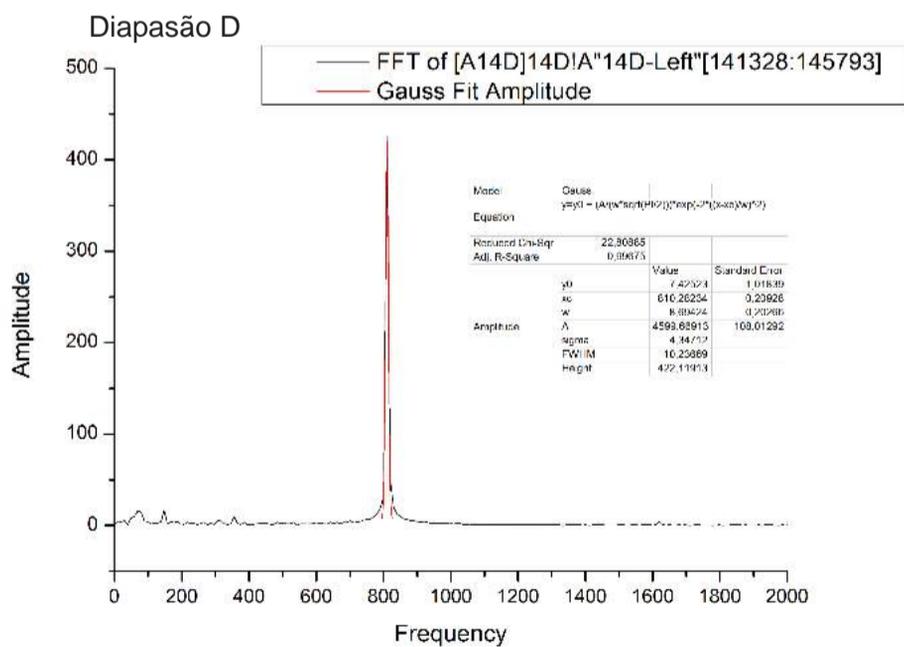


gráfico 15: Amplitude em função da frequência para o diapasão D.

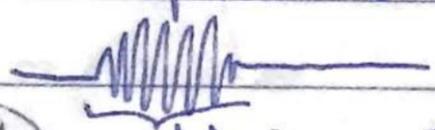
Vemos que o pico de ΔE amplitude se dá para diferentes valores de frequências por se tratarem de diapasões distintos. Observando os valores coletados em uma tabela obtemos:

Diapasão	Δt (s)	$\Delta \nu$ (Hz)	ΔE (J)	$\Delta E \Delta t$	$\hbar/2$
A	0,1	26,51	1,75655E-32	1,75655E-33	5,2728E-35
B	0,1	11,43	7,57352E-33	7,57352E-34	5,2728E-35
C	0,1	6,12	4,05511E-33	4,05511E-34	5,2728E-35
D	0,1	10,24	6,78502E-33	6,78502E-34	5,2728E-35

Tabela 2: valores obtidos para 4 diapasões
 Mais uma vez vemos que a multiplicação $\Delta E \Delta t$ suscita o princípio da incerteza de Heisenberg por ser maior que a constante $\hbar/2$.

6) Não existe erro nas referências, uma apenas específica mais os valores do princípio, e por isso permite ser validada sempre.

7) O menor pacote observado foi de 1s:

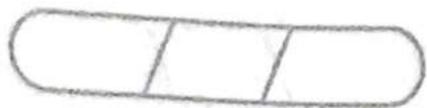
 para o pulso do gerador de funções.

8) Das relações obtidas temos:

fonte geradora de funções : $\overline{\Delta E \cdot \Delta t} = 8,12 \cdot 10^{-34} \pm 1,70 \cdot 10^{-34}$

diapasão : $\Delta E \cdot \Delta t = 7,18 \cdot 10^{-34} \pm 5,90 \cdot 10^{-34}$

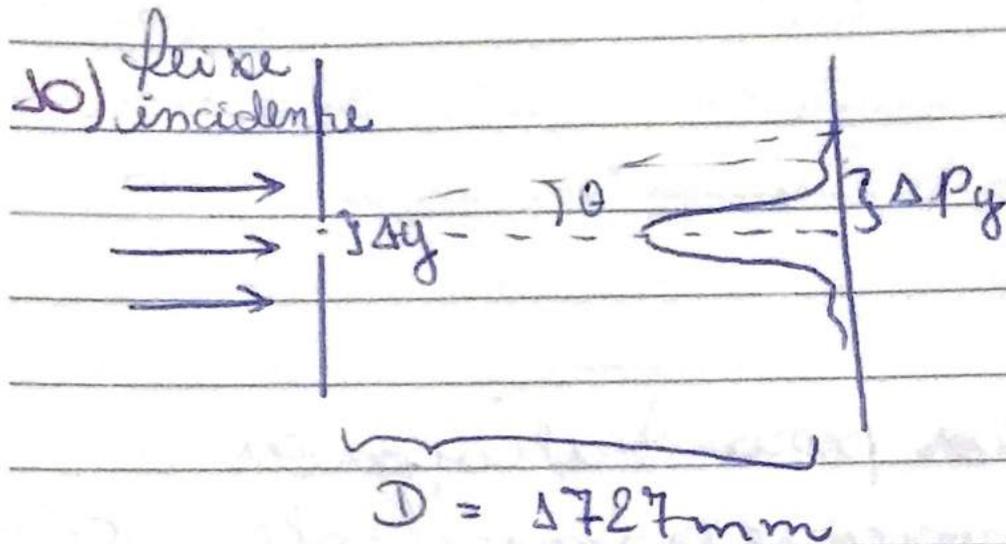
Os valores encontrados, apesar de próximos na média, possuem valores de ~~incertezas~~ ~~mais~~ ~~diversos~~ muito diferentes, desta forma escolheria o valor da fonte, por ter uma variação menor de relações obtidas, de forma a restringir os valores aos ~~valores~~ mais próximos de $\hbar/2$.



$$3) \Delta p_y = 2 p \sin \theta = 2 \frac{h}{\lambda} \sin \theta$$

$$e \Delta y = \lambda \sin \theta$$

$$\Rightarrow \Delta p_y \Delta y = \frac{2h}{\lambda} \sin \theta \cdot \frac{\lambda}{2 \sin \theta} = 2h > \frac{h}{2} \text{ sempre}$$



11) 12) Os valores obtidos com as medidas foram:

Abertura Micrômetro (mm)	Largura Feixe (cm)
0,09	2,65
0,14	1,90
0,19	1,05
0,24	0,80
0,29	0,65
0,34	0,50
0,39	0,40
0,44	0,35
0,49	0,32

tab. 3: Valores obtidos após realizar a difração da luz

13) Com tais valores, podemos construir o gráfico:

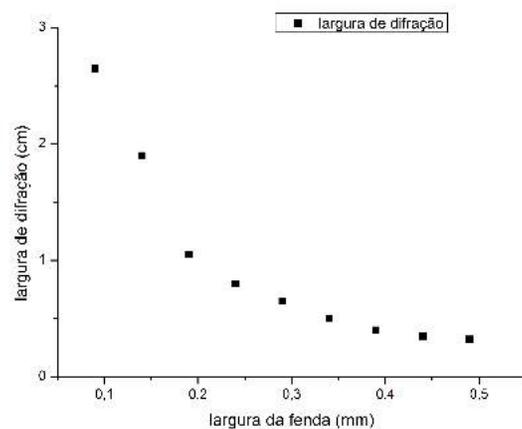


gráfico 16: largura do máximo de difração em função da largura da fenda.

14) Para determinar a incerteza ~~em~~ do momento do foton em função da largura da fenda usamos que o valor da largura medida entre o máximo e o mínimo de difração é Δp_y e a largura da fenda é Δy .

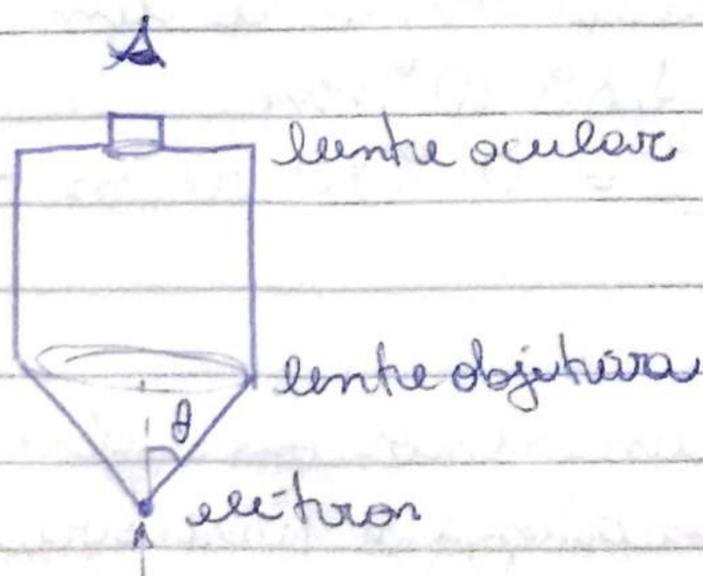
15) Observando o comportamento de $\Delta p_y \Delta y$ a fim de verificar o princípio da incerteza de Heisenberg.

Δp_y (m)	Δy (m)	$\Delta p_y \Delta y$	$\hbar/2$
0,0265	0,00009	2,39E-06	5,27E-35
0,019	0,00014	2,66E-06	5,27E-35
0,0105	0,00019	2,00E-06	5,27E-35
0,008	0,00024	1,92E-06	5,27E-35
0,0065	0,00029	1,89E-06	5,27E-35
0,005	0,00034	1,70E-06	5,27E-35
0,004	0,00039	1,56E-06	5,27E-35
0,0035	0,00044	1,54E-06	5,27E-35
0,0032	0,00049	1,57E-06	5,27E-35

tabela 4: valores discriminados para o produto $\Delta p_y \Delta y$ para a luz em comparação ao valor de $\hbar/2$

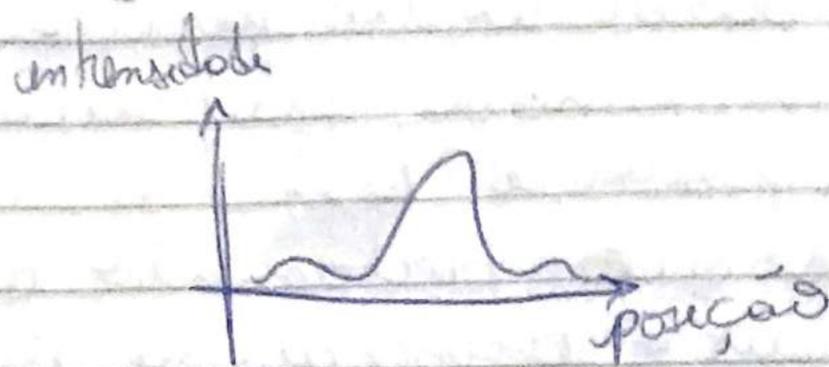
Vemos que o produto das incertezas é muito maior que a constante, validando novamente o princípio da incerteza de Heisenberg.

16) O diagrama do experimento encontra-se a seguir:



fonte de luz

nutricão, observaríamos um padrão de difração segundo o desenho a seguir:



de forma que não é possível determinar a posição exata do elétron devido ao processo de observação.

17) Os padrões de difração de fótons e elétrons é o mesmo, porém, para que o fenômeno da difração ocorra, a fenda por qual a onda passa deve ser da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda, portanto, se simplesmente trocássemos o feixe incidente ~~de~~^{por} elétrons, não observaríamos difração, pois o comprimento da onda de elétrons é significativamente menor que as dimensões da fenda utilizada.

18) Usando a relação ~~de~~ de desmoldada, em

g) temos: $\Delta y = \frac{2h}{\Delta p_y} \Rightarrow \Delta y = \frac{2 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34}}{0,002}$

\Rightarrow largura da fenda: $6,626 \cdot 10^{-31} \text{ m}$

Porém encontramos experimentalmente um valor

médio para $\Delta p_x \Delta y = 1,89 \cdot 10^{-6}$

então: $\Delta y = \frac{1,89 \cdot 10^{-6}}{0,002} = 0,945 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 0,945 \text{ mm}$

o Conclusão:

Concluímos portanto que cumpriamos com o objetivo de verificar o princípio da incerteza de Heisenberg obtendo valores satisfatórios e coerentes com a literatura