

Kaio Bernardo de Barros 10691136

Experimento 6 - Princípio da Incerteza

Introdução

O princípio da incerteza está relacionado a indeterminação simultânea tanto da posição e do momento de uma partícula quanto da energia e do tempo, i.e. não é possível determinar com certeza uma componente "x" e simultaneamente p_x , o mesmo é válido para a energia e o tempo.

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

ou

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (\text{II})$$

Se p_x é o momento da partícula com incerteza de Δp_x , a posição "x" no mesmo instante com incerteza Δx , "E" é a energia do sistema com incerteza ΔE , Δt é o intervalo de tempo característico de rapidez com que ocorrem mudanças no sistema e " \hbar " está relacionado a constante de Planck $\hbar \rightarrow \frac{h}{2\pi}$

Metodologia

A metodologia será dividida em duas etapas, na primeira parte iremos obter o som de uma fonte com frequência de 200 Hz, durante 1 segundo e depois 5, 10, 15, ..., 55 segundos, e com esses valores verificar a validade do princípio de incerteza, além disso, iremos mensurar a frequência de vibrações de alguns diapásios, buscando a frequência deles e confirmar o princípio desta forma.

A segunda parte consiste no uso de ondas eletromagnéticas para o teste do princípio da incerteza. Utilizando uma fenda de abertura variável, iremos variar a abertura e anotar as mudanças na diferença dos máximos de difração.

Resultados

Tópico 1 - Faça um gráfico da amplitude em função do tempo, e sua transformada de Fourier.

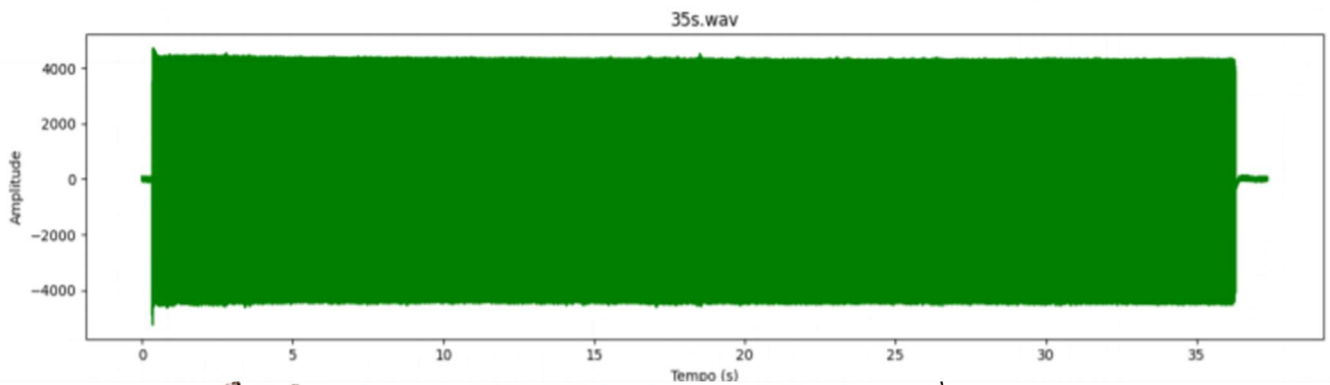


Gráfico 1 - Amplitude do sinal por tempo.

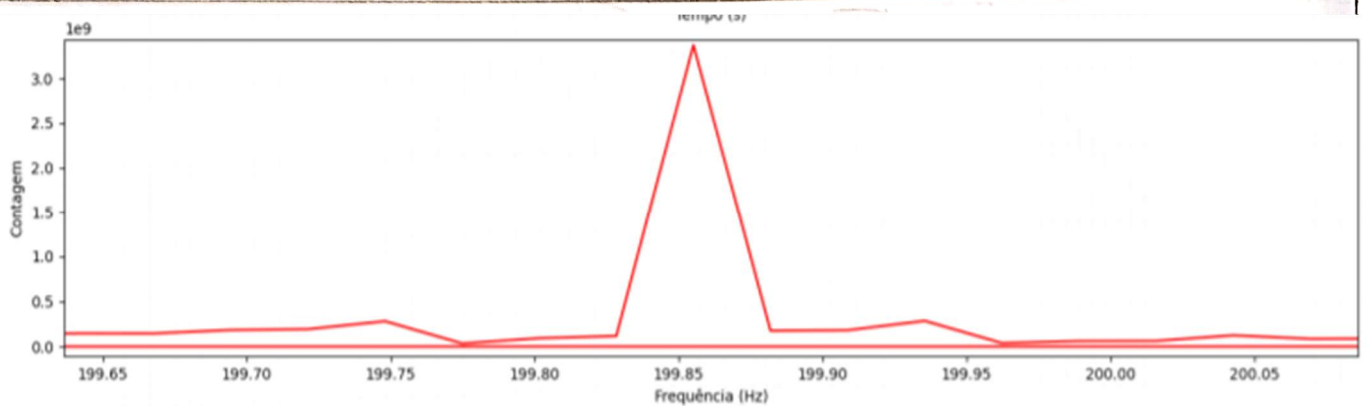


Gráfico 2 - Transformada de Fourier do sinal do gráfico 1.

Tópico 4 - Monte uma tabela com os valores experimentais e o tempo do pacote de ondas, frequência mensurada e etc. para calcular a relação de Heisenberg.

Pico (Hz)	FWHM (Hz)	ΔT (s)	$\Delta f \cdot \Delta t$	ΔE (J)	$\Delta E \cdot \Delta t$ (J.s)	$\hbar/2$ (J.s)
199.666	1.219	2.099	2.559	8.08E-34	1.70E-33	5.27E-35
199.91	0.312	6.448	2.014	2.07E-34	1.33E-33	5.27E-35
199.835	0.151	11.825	1.785	1.00E-34	1.18E-33	5.27E-35
199.868	0.072	17.371	1.248	4.76E-35	8.27E-34	5.27E-35
199.873	0.066	21.299	1.395	4.34E-35	9.24E-34	5.27E-35
199.869	0.067	27.868	1.871	4.45E-35	1.24E-33	5.27E-35
199.861	0.039	32.052	1.245	2.57E-35	8.25E-34	5.27E-35
199.855	0.028	37.342	1.045	1.85E-35	6.93E-34	5.27E-35
199.857	0.034	41.87	1.43	2.26E-35	9.47E-34	5.27E-35
199.83	0.029	46.89	1.372	1.94E-35	9.09E-34	5.27E-35
199.83	0.02	52.785	1.047	1.31E-35	6.94E-34	5.27E-35

Tabela 1 - Dados de incerteza do tempo e frequência.

Podemos observar que o valor de $\Delta T \Delta f$ sempre se mantém próximo de $1/2$, valor esperado pela literatura. Obtivemos uma média de $1/2$.

Tópico 5 - Obtenha o mesmo para os diapasões.

Pico (Hz)	FWHM (Hz)	ΔT (s)	$\Delta f \cdot \Delta t$	ΔE (J)	$\Delta E \cdot \Delta t$ (J.s)	$\hbar/2$ (J.s)
74.558	0.813	1.663	1.352	5.39E-34	8.96E-34	5.27E-35
521.779	0.287	9.182	2.633	1.90E-34	1.74E-33	5.27E-35
73.922	2.317	1.894	4.387	1.54E-33	2.91E-33	5.27E-35
810.662	0.266	6.883	1.828	1.76E-34	1.21E-33	5.27E-35

Tabela 2 - Incertezas do diapasão.

Tópico 9 - Demonstração.

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{\Delta y}$$

$$\Delta p_y \approx p_y = \rho \sin \theta$$

$$\Delta p_y = \rho \frac{\lambda}{\Delta y} = \frac{h}{\Delta y}$$

$$\therefore \Delta p_y \Delta y = h$$

Tópico 10 - Diagrama e componentes a serem empregados na parte 2.

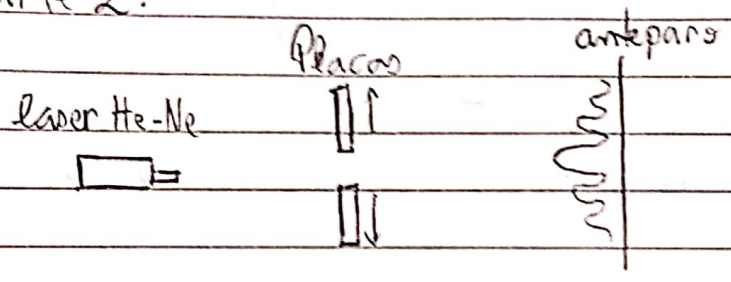


Figura 1 - Diagrama do experimento parte 2

Tópico 13 - Apresente um gráfico da variação dos máximos pela abertura da fenda

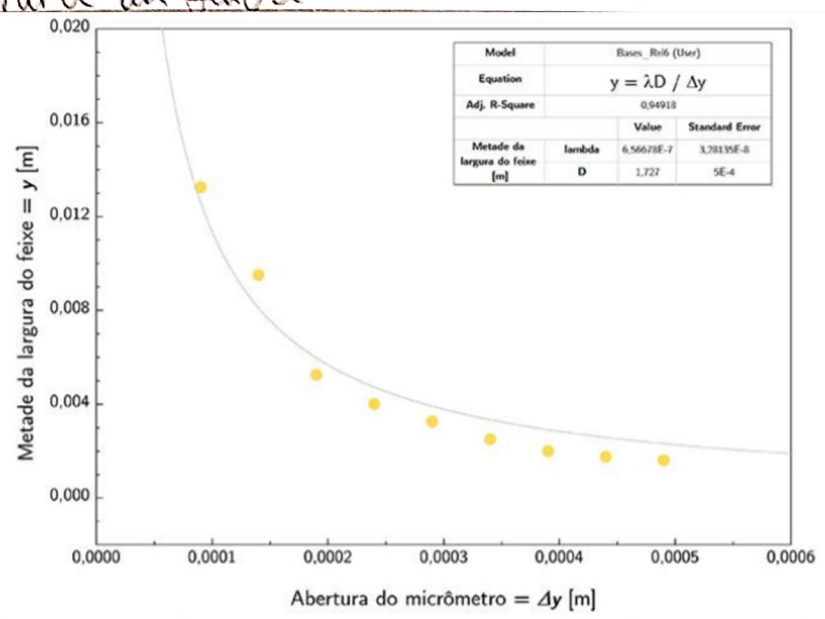


Gráfico 3 - Abertura das fendas em função da distância dos máximos.

Tópicos 14 e 15 - Determine a incerteza do momento do fóton em função da largura da fenda

Tabela 3 Comparação do princípio da incerteza com os dados de posição e momento coletados para uma onda eletromagnética

Abertura do micrômetro [$\pm 0,001$ cm]	Largura do feixe [$\pm 0,01$ cm]	Incerteza do momento em y [10^{-29} kg·m/s]	$\Delta y \cdot \Delta p$ [10^{-33} J·s]	h [10^{-33} J·s]	Comparação entre o valor calculado e h
0,009	2,65	1,5475 \pm 0,0059	1,3928 \pm 0,1548	0,6626	210% \pm 23%
0,014	1,90	1,1096 \pm 0,0058	1,5534 \pm 0,1110	0,6626	234% \pm 17%
0,019	1,05	0,6132 \pm 0,0058	1,1650 \pm 0,0613	0,6626	176% \pm 9%
0,024	0,80	0,4672 \pm 0,0058	1,1212 \pm 0,0467	0,6626	169% \pm 7%
0,029	0,65	0,3796 \pm 0,0058	1,1008 \pm 0,0380	0,6626	166% \pm 6%
0,034	0,50	0,2920 \pm 0,0058	0,9928 \pm 0,0292	0,6626	150% \pm 4%
0,039	0,40	0,2336 \pm 0,0058	0,9110 \pm 0,0234	0,6626	137% \pm 4%
0,044	0,35	0,2044 \pm 0,0058	0,8993 \pm 0,0204	0,6626	136% \pm 3%
0,049	0,32	0,1869 \pm 0,0058	0,9157 \pm 0,0187	0,6626	138% \pm 3%

Tabela 3 - Incerteza dos fótons.

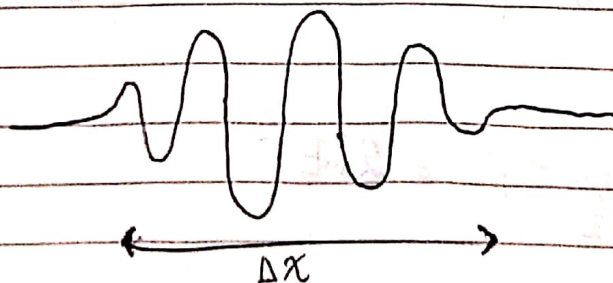
Discussão

Ondas mecânicas:

Tópico 6 - Compare os enunciados do princípio da incerteza, há erros?

Há diferenças no valor a ser comparado, por exemplo, temos que o valor limitante do Princípio de Incerteza é $h/2$, já na outra referência é apenas h . Essa diferença não é limitante, são compatíveis e verdadeiras, cada uma atua em um sistema diferente.

Tópico 7 - Diagrama do pacote de ondas de menor tempo



No nosso caso é difícil a representação pois usamos a transformada de Fourier junto com a técnica da amplitude de meia onda, a figura anterior é uma boa representação.

Tópico 8 - Se você fosse desafiado a obter a menor ΔE , que experimento faria?

O experimento com as ondas sonoras e obtém diversas resoluções e mesmo dados experimental para um mesmo ΔE , para ter dados bons e suficientes.

Ondas eletromagnéticas:

Tópico 16 - Microscópio de Bohr

O microscópio de Bohr ajuda a entender a funcionalidade do princípio de incerteza. Se quisermos energizar um elétron, devemos incidir um fóton nele, mas essa incidência irá movimentar o elétron, fazendo que o objeto observado não esteja no mesmo local, ou seja, saberíamos a posição do elétron mas não seu momento, e assim não saberemos a futura posição.

Tópico 17 - Qual a diferença de utilizar um feixe de elétrons no lugar do laser?

Caso a fenda tenha tamanho o suficiente (muito pequeno) e o feixe energético suficiente para agir como onda, não tem diferença.

Tópico 18 - Supondo um feixe de elétrons, qual largura de fenda causaria difração?

$$\Delta p_y \Delta y > h \rightarrow \Delta p_y \approx p_y = (2mE)^{\frac{1}{2}}$$
$$\Delta y = h \cdot (2mE)^{\frac{1}{2}}$$

Conclusões

O princípio de Incerteza impõe os limites físicos da precisão possível das medidas, nesse experimento vimos como esse princípio da mecânica quântica está presente em nossa volta e comprovamos sua existência, limitando os valores de $\Delta x \Delta p_x$ e $\Delta y \Delta p_y$ por uma constante.