

Relatório 6: Princípios da Incerteza

Anna Beatriz R. Jaria

nº USP: 10732180

Resumo:

Através deste experimento, estudamos o princípio da incerteza de Heisenberg e o princípio da incerteza da energia em relação ao tempo.

Introdução:

O princípio da incerteza foi formulado em 1927 por Werner Heisenberg, no qual estabelece um limite na precisão com que certos pares de propriedades de uma dada partícula, podem ser conhecidos. Ele propõe que quanto menor a incerteza na medida da posição, maior a incerteza no momento linear, e vice-versa, ou seja, não conseguimos medir os dois de maneira simultânea, já que quanto mais preciso um, menor é o outro. Multiplicando os erros nas medições desses valores, devemos encontrar um número maior ou igual a metade de "h-barra", onde $\hbar = h/2\pi$ e $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.

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

Usando as relações de de Broglie (2) e Einstein (3), temos a relação de princípios de incerteza válida para energia e tempo:

$$(2) \quad p = \hbar \frac{2\pi}{\lambda} = \hbar k \quad \text{e} \quad E = \hbar \omega \quad (3)$$

$$\Delta E \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (4)$$

Podemos comprovar a relação 1 em um experimento envolvendo ondas eletromagnéticas, e a 4, ondas mecânicas.

Metodologia:

O experimento se divide em duas partes: primeira analisando ondas sonoras (mecânicas) e a segunda, ondas eletromagnéticas.

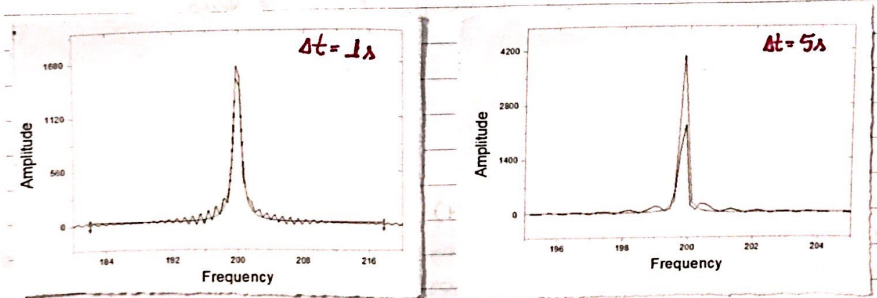
Na primeira, posicionamos um gerador de ondas de frequência variável acoplado a um interruptor para a variação do sinal em função do tempo, conectado em um autôfalante e um microfone ligado no computador para fazer as gravações através do software Sound Recorder.

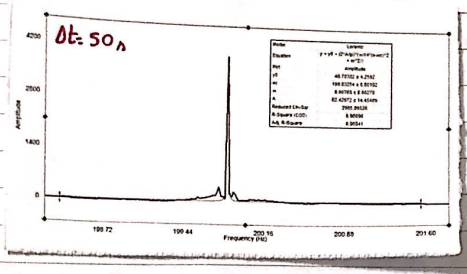
Foram gerados sons na frequência de 200Hz e gravamos ele continuamente para tempos de 1 a 50 segundos em passos de 5 segundos. Com os dados coletados fizemos gráficos e aplicamos a transformada de Fourier para analisarmos a largura-a-meia altura e a equação 4.

Já na segunda parte, posicionamos e alinhamos um laser, dois lâminas para criar uma pequena fenda simples de tamanho variável e um anteparo. Com o laser ligado, foi diminuído o tamanho da fenda. Analisando a relação da equação 1.

Resultados:

1ª parte: para a primeira parte, fizemos a transformada de Fourier dos sinais, nos resultados gráficos de amplitude versus frequência, onde pudemos retirar informações como a frequência de pico e Δf , para conseguirmos comprovar a validade da equação 4:





↳ Dos gráficos obtemos os seguintes resultados:

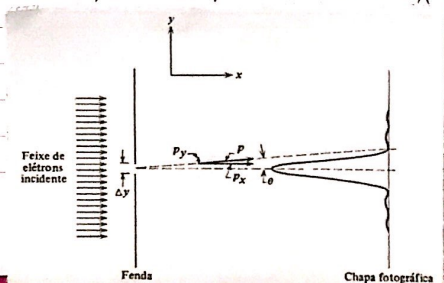
f pico	Δt	Δf	ΔE	$\hbar/2$	$\Delta E \cdot \Delta t$
199,88	1,03	0,9582	6,35E-34	5,27E-35	6,54E-34
199,845	5,23	0,1458	9,66E-35	5,27E-35	5,05E-34
199,86	10,48	0,0996	6,60E-35	5,27E-35	6,91E-34
199,85	15,20	0,0442	2,93E-35	5,27E-35	4,45E-34
199,86	19,85	0,0520	3,45E-35	5,27E-35	6,84E-34
199,86	26,00	0,0563	3,73E-35	5,27E-35	9,69E-34
199,86	31,22	0,0309	2,04E-35	5,27E-35	6,38E-34
199,85	35,90	0,0136	9,02E-36	5,27E-35	3,24E-34
199,86	40,35	0,0308	2,04E-35	5,27E-35	8,23E-34
199,85	45,23	0,0250	1,65E-35	5,27E-35	7,48E-34
199,86	51,06	0,0077	5,09E-36	5,27E-35	2,60E-34

↳ podemos notar que todos os frequências de pico são próximas de 200Hz, satisfazendo a frequência do gerador. Outro ponto que podemos notar nos ultimas duas colunas é que:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

Satisfazendo e comprovando a teoria de Heisenberg. Um terceiro ponto percebido é, a medida em de Δt aumento, Δf diminui.

2ª parte: para a segunda parte, a análise dos ondas eletromagnéticas, temos o esquema experimental a seguir:



spirati

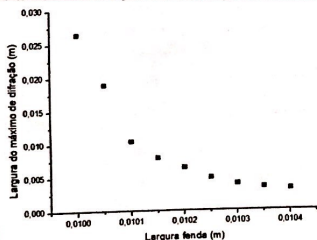
Um passar através do sistema mostrado na figura, a onda será difratada pela fenda. O ângulo θ do primeiro mínimo da figura de difração é dado por $\sin\theta = \lambda/\Delta y$. Como a propagação da onda governa o movimento da partícula, a figura de difração também dá as probabilidades relativos que o elétron tem de alcançar diferentes pontos do anteparo. Embora seu momento na direção y fosse conhecido com grande precisão ($p_y=0$) antes de passar pela fenda, já que se sabia pouco sobre sua posição, após passar por ela, seu momento p_y pode ter qualquer valor entre $-p_y$ e $+p_y$, com $\sin\theta = p_y/p$. A incerteza é:

$$\Delta p_y \approx p_y \approx p \sin\theta = \frac{p\lambda}{\Delta y} \quad (5)$$

↓ usando a equação 2

$$\Delta p_y \Delta y = h \quad \text{ou} \quad \Delta p_y \Delta y = h \quad (6)$$

Comprovando teoricamente que $\Delta p_y \Delta y \geq h/2$, como diz o princípio da incerteza. Para verificar experimentalmente, fizemos um gráfico de Δp_y versus Δy e a multiplicação para comprovar o princípio da incerteza:



Largura do máximo de difração (m) (Δp_y)	Largura da fenda (m) (Δy)	$h/2$	$\Delta p_y \Delta y$
0,0265	0,01000	5,27286E-35	2,65E-04
0,0190	0,01005		1,91E-04
0,0105	0,01010		1,06E-04
0,0080	0,01015		8,12E-05
0,0065	0,01020		6,63E-05
0,0050	0,01025		5,13E-05
0,0040	0,01030		4,12E-05
0,0035	0,01035		3,62E-05
0,0032	0,01040		3,33E-05

↳ observando a tabela, é evidente que o produto $\Delta p_y \cdot \Delta y$ é muito maior que $\hbar/2$, validando o princípio da incerteza.

Conclusão:

Através dos experimentos, pudemos comprovar o princípio da incerteza da energia em relação ao tempo, através de ondas mecânicas e, o princípio da incerteza da posição em relação ao momento, através de ondas eletromagnéticas. Obtemos resultados satisfatórios onde sempre, nos dois casos, tivemos a multiplicação de dois fatores ($\Delta E \Delta t$ ou $\Delta p_y \Delta y$) maior do que $\hbar/2$, o que era previsto pela teoria.

Referências:

- Wikipedia
- Texto de referência para o princípio de incerteza com CM - moodle