

Bases da Mecânica Quântica

Experimento VI - Princípios da Incerteza

Nome: Lucas Cesar Bedar Zamir

nº USP: 10732169

16/10/2020

Resumo:

O experimento aqui descrito estuda o princípio da incerteza, por ondas eletromagnéticas e ondas mecânicas, em relação a posição e a momento e em relação a energia e tempo respectivamente. Além disso, verificamos a exatidão e precisão dos métodos matemáticos e gráficos para a validação do princípio da incerteza, obtendo resultados satisfatoriamente exatos e precisos.

Introdução:

Em 1927, é formulada, por Werner Heisenberg, um enunciado da mecânica quântica, o qual se remete ao princípio da incerteza. O princípio estabelece um limite na precisão com que certas propriedades de uma dada partícula física, conhecida como variáveis complementares (por exemplo, posição e momento linear), podem ser conhecidas. Heisenberg, em 1927, propôs em seu artigo, que estas grandezas são inversamente proporcionais, ou seja, em um nível quântico, quanto menor for a incerteza do seu momento linear, maior será a incerteza na medida da posição de uma partícula e vice-versa.

O princípio da incerteza diz que não podemos medir o momento linear (p) e a posição (x) de uma partícula, de maneira simultânea, com precisão absoluta, ou seja, são inversamente proporcionais, sendo mais precisamente uma delas variável, conhecemos menos precisamente a outra variável. Multiplicando as incertezas nas medições destas variáveis (incertezas são representadas pela delta Δ) tem-se que elas são maiores ou iguais à metade de uma constante chamada "h-bar".

→ O valor não será igual a metade de "h-bar", quando no experimento tiver infinitas ondas de matéria no grupo de ondas, ou seja, uma situação impossível.

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Equação 1: Princípio da Incerteza - posição e momento linear

Polas eqs. de de Broglie (Eq. 2) e Einstein (Eq. 3), obtemos a relação do princípio da incerteza válida também para a energia E, e tempo (t) (Eq. 4)

$$p = \hbar 2\pi \lambda = \hbar k$$

Equação 2: Equações de de Broglie

$$E = \hbar \nu$$

Equação 3: Equações de Einstein

Substituindo, encontramos:

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

Equação 4: Princípio da Incerteza - Energia e tempo

Sendo que, a equação 1 pode ser comprovada a partir de um experimento envolvendo ondas eletromagnéticas, um experimento de difração. E a relação, a equação 4, pode ser comprovada a partir de um experimento de ondas mecânicas, através da análise de sua amplitude a partir de uma transformação de Fourier.

Sendo assim, o objetivo deste experimento é estudar o princípio de incerteza de Heisenberg, utilizando tanto ondas mecânicas, quanto ondas eletromagnéticas.

data
fecha

D S T Q Q S S
D L M M J V S

Material e Método:

O experimento possui 2 partes, sendo uma parte referente a uma onda eletromagnética e a outra a uma onda sonora (mecânica)

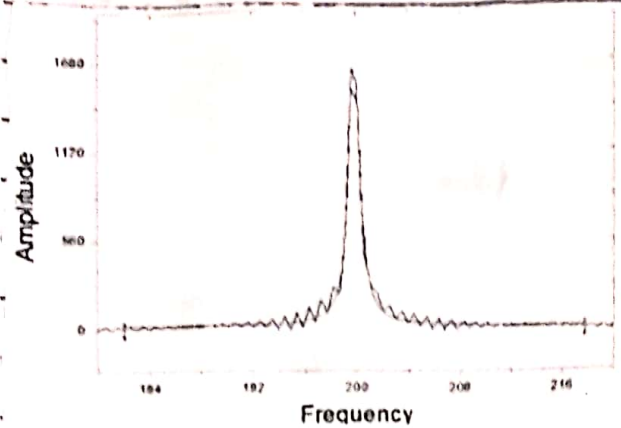
Em relação a parte das ondas eletromagnéticas, foi usado uma pequena fonte simples de tamanho variável com 2 lâminas e, também, foi posicionada e alimentada um laser. Com o laser ligado, foi se diminuindo o tamanho do fenda e analisando o padrão de difração formado no anteparo. Foi também medida o tamanho do fenda com relação ao tamanho da maior pica formada na difração no anteparo, analisando desta forma, a relação da equação 1. Foi plotado um gráfico do largura do pica máxima do difração em função do largura do fenda para a análise.

Em relação a parte das ondas mecânicas, foi posicionado um gerador de ondas de frequência variável acoplado a um interruptor para a variação do sinal em função do tempo, conectado em um alto falante e um microfone ligado ao computador para fazer a gravação do sinal através do software Record Recorder. Foi gerado sons na frequência de 200 Hz e gravados a partir continuamente para tempos de 1 a 55 segundos em passos de 5 segundos, máxima de gravação 60 segundos. Com os dados coletados foram plotados e aplicados a transformado de Fourier, para análise do bordo de frequência do sinal (método da largura - a - meia altura), e comparado em função com o tempo aplicado, para a análise da equação 4.

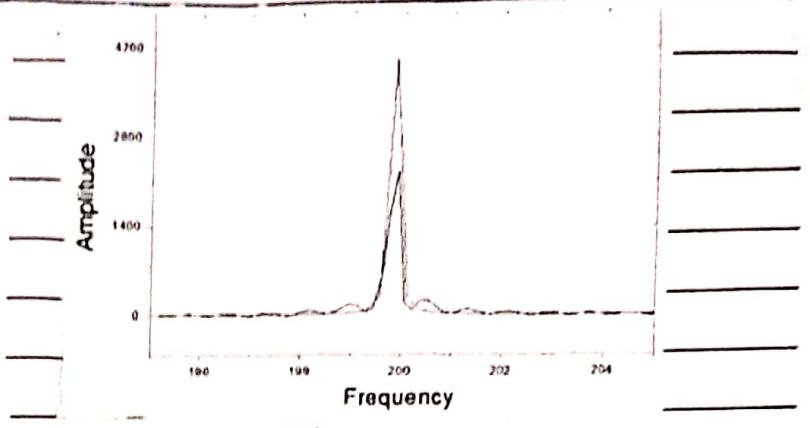
Resultados e Discussão:

Ondas Mecânicas: Foi feita a transformado de Fourier dos sinais coletados, A transformado permitiu que tivéssemos informações muito relevantes para a análise, pois com a transformado obtemos gráficos do amplitude vs frequência. Logo, analisando os gráficos e dados coletados dos mesmos, foi possível comprovar a validade da equação 4.

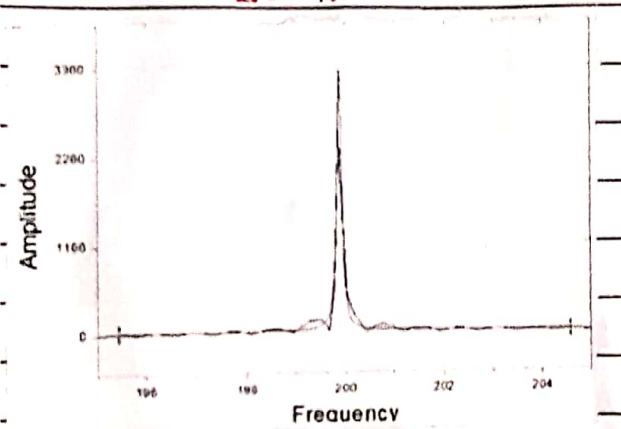
Gráficos de transformada de Fourier - Amplitude vs Frequência



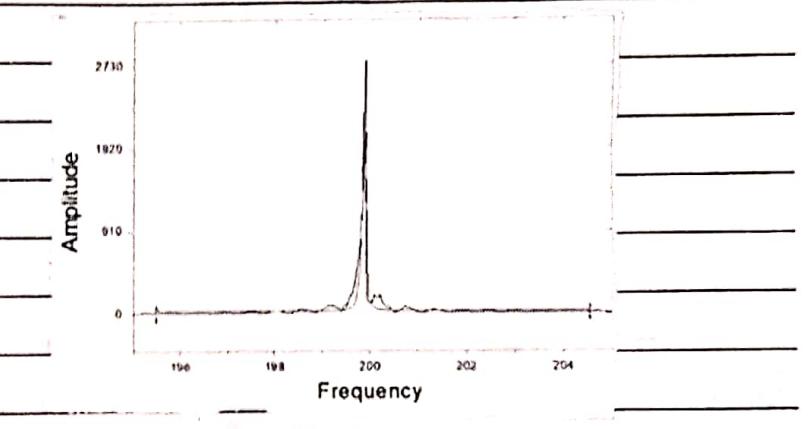
$\Delta t = 1s$



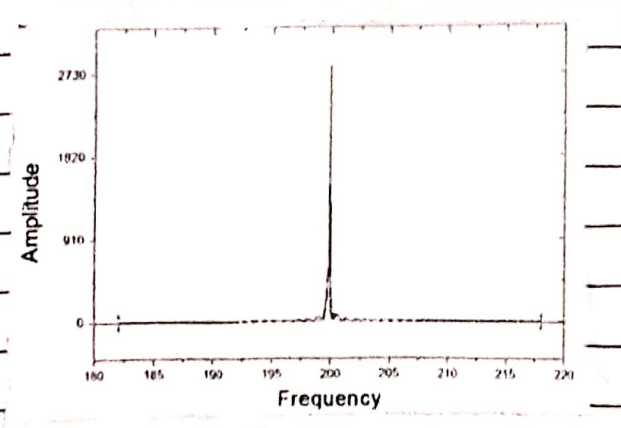
$\Delta t = 5s$



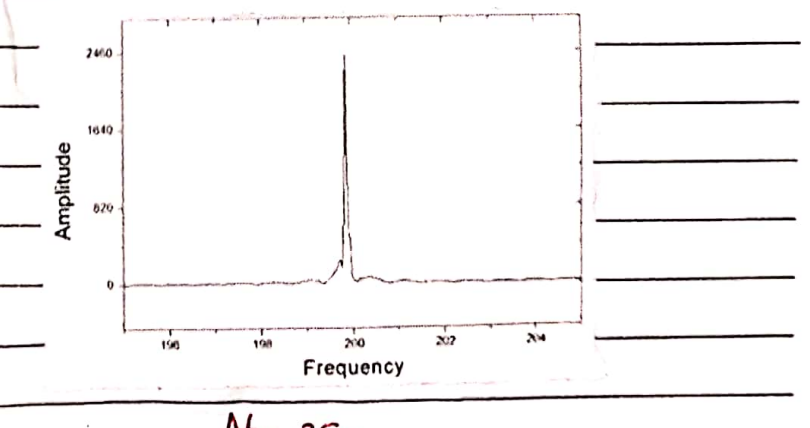
$\Delta t = 10s$



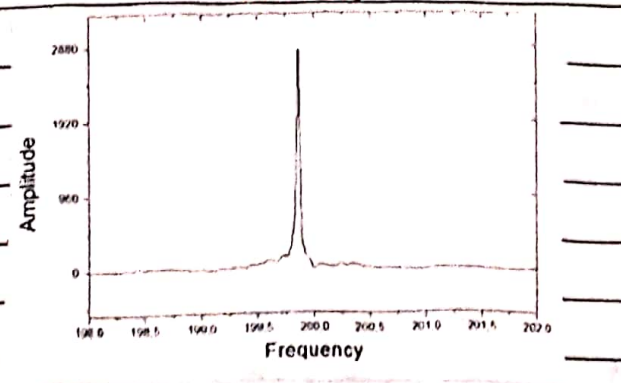
$\Delta t = 15s$



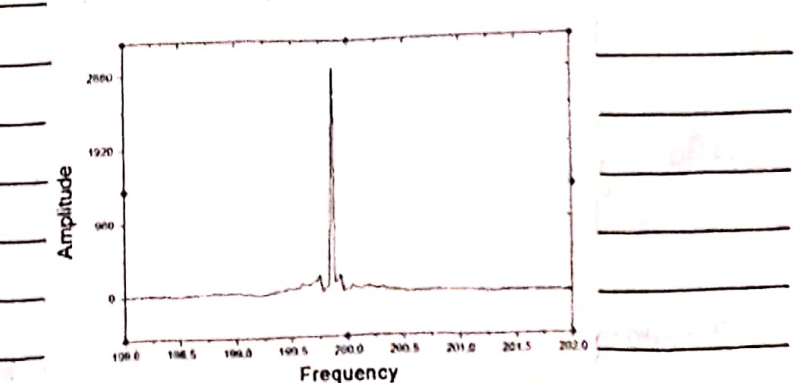
$\Delta t = 20s$



$\Delta t = 25s$



$\Delta t = 30s$



$\Delta t = 35s$

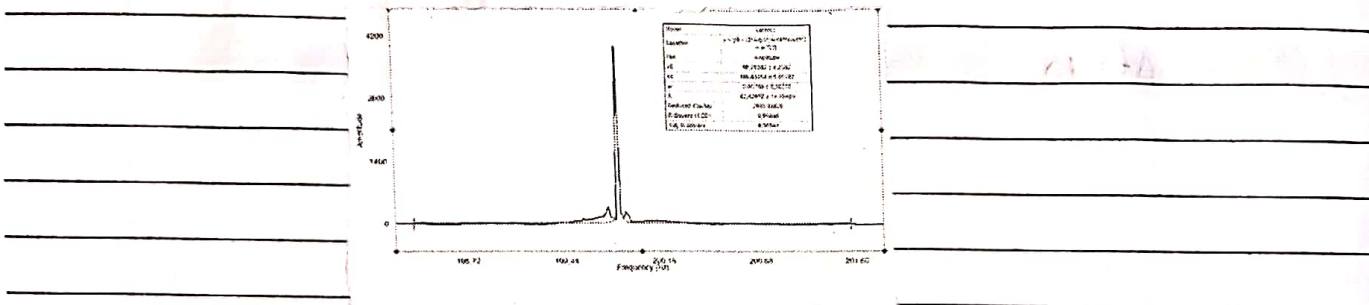
data
fecha

(D) (S) (T) (Q) (Q) (S) (S)
(D) (L) (M) (M) (J) (V) (S)



$\Delta t = 20 \text{ s}$

$\Delta t = 45 \text{ s}$



$\Delta t = 50 \text{ s}$

Obtengan los siguientes datos, a partir de los gráficos acima:
Tabla 1: Datos referentes con gráficos con transformadas de Fourier

fpico	Δt	Δf	ΔE	$\hbar/2$	$\Delta t \cdot \Delta E$
199,87	1,03	0,9584	6,34E-34	5,27E-35	6,53E-34
199,84	5,24	0,1462	9,67E-35	5,27E-35	5,07E-34
199,88	10,45	0,0997	6,62E-35	5,27E-35	6,92E-34
199,83	15,18	0,0448	2,91E-35	5,27E-35	4,42E-34
199,87	19,86	0,052	3,45E-35	5,27E-35	6,85E-34
199,86	26,01	0,0566	3,73E-35	5,27E-35	9,70E-34
199,86	31,25	0,031	2,04E-35	5,27E-35	6,38E-34
199,85	35,90	0,0136	9,02E-36	5,27E-35	3,24E-34
199,84	40,37	0,0311	2,05E-35	5,27E-35	8,28E-34
199,85	45,28	0,0252	1,65E-35	5,27E-35	7,47E-34
199,87	51,07	0,0078	5,09E-36	5,27E-35	2,60E-34

Por la ecuación 4:

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

→ Nota-se pela última coluna que p/ todos valores, satisfaz a condição exigida, ou seja, comprova a teoria do Princípio de Incerteza de Heisenberg

Além disso, nota-se que todos os picos estão próximos de 200 Hz, que satisfaz a frequência do gerador.

Ondas eletromagnéticas:

A partir da equação abaixo, obtemos:

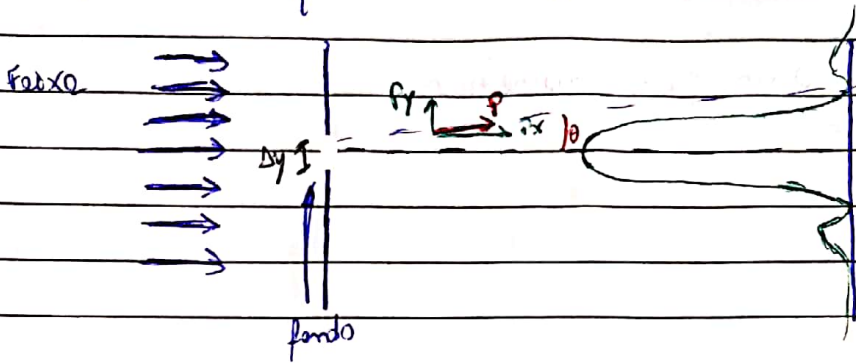


Figura 1: Esquema experimental

temos que,

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

Porém, inicialmente (antes de passar pela fenda) $\Rightarrow p_y = 0$

Agora, passando pela fenda:

$$p_y = p \sin \theta$$

Devido a isso, p_y terá uma incerteza, substituindo o valor de $p \sin \theta$, encontramos:

$$p_y = \frac{p \lambda}{\Delta y} \Rightarrow \Delta p_y = \frac{p \lambda}{\Delta y}$$

Sabemos que,

$$h = p \lambda$$

Logo,

$$\Delta p_y = \frac{h}{\Delta y} \Rightarrow \Delta p_y \Delta y = h$$

Comparando teoricamente, que $\Delta p_y \Delta y \geq \frac{h}{2}$, imposto pelo princípio da incerteza

data
fecha

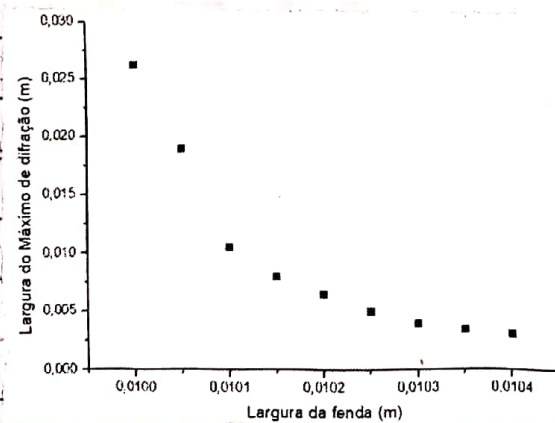
(D) (S) (T) (Q) (Q) (S) (S)
(D) (L) (M) (M) (J) (V) (S)

Com o intuito de verificar essa relação experimentalmente, foram coletados os Δy (largura do Máximo de difração) e o Δy (largura da fenda) correspondente para o fenômeno de difração. A tabela abaixo mostra os dados coletados e a gráfica mostra a distribuição dos dados coletados.

Tabela 2: Dados coletados - Ondas Eletromagnéticas

Largura do Máximo de difração (m) - Δy	Largura da fenda (m) - Δy	$h/2$	$\Delta y * \Delta y$
0,02630	0,01000	5,27286E-35	2,63E-04
0,01900	0,01005		1,91E-04
0,01050	0,01010		1,06E-04
0,00800	0,01015		8,12E-05
0,00650	0,01020		6,63E-05
0,00500	0,01025		5,13E-05
0,00400	0,01030		4,12E-05
0,00350	0,01035		3,62E-05
0,00310	0,01040		3,22E-05

Gráfica 2: largura do Máximo de Difração vs largura do Fenda, dados referente a tabela 2



Na tabela a última coluna do tabela 2 ($\Delta y \cdot \Delta y$) é comete afirmar que o produto de $\Delta y \cdot \Delta y$ é muito maior que $h/2$, o que valida o princípio da incerteza de Heisenberg.

data
fecha

D	S	T	Q	Q	S	S
D	L	M	M	J	V	S

Conclusões

À partir dos resultados obtidos e, comparando-os com valores teóricos para cada variável, concluímos que os métodos não somente estão precisos, observando a proximidade dos resultados. Portanto, através da experimentação, foi possível explorar o princípio do incertezas de posição em relação ao momento, para ondas eletromagnéticas e, também, o princípio do incertezas de energia em relação ao tempo, para ondas mecânicas.

Referências:

- Brasil Escola
- Notarial de Apoio - Moodle
- Mundo Educação
- Revista Galileu