

## Princípio da Incerteza

### Introdução

O princípio da incerteza proposto, primeiramente, por Heisenberg e lançado como característica intrínseca do mundo microscópico, de física de partículas, por ter importância memorável quando se trata de coisas muito pequenas, como determinar a posição e o momento exato de um elétron em termos de nêutrons, geralmente em problemas que envolvem ordem de grandeza próxima à constante de Planck. Porém, o princípio da incerteza é mais que uma questão matemática, está relacionado a conceitos probabilísticos. Enquanto a física clássica trabalha com problemas determinísticos, a física quântica é probabilística, uma vez que não temos certeza exata dos parâmetros que envolvem aquele corpo extremamente pequeno e as próprias medições para medi-las seriam capazes de influenciar nos resultados.

### Relação matemática do princípio da incerteza:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{h}{2}$$

Para o experimento:

$$(\Delta f \cdot h) \cdot (\Delta t) \geq \frac{h}{2}$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2} \quad \text{para onda mecânica}$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{h}{2} \quad \text{para difração de fótons}$$

## Resumo

Neste experimento, trabalharemos com ondas mecânicas e iremos testar o princípio da incerteza para a energia de partículas utilizando um tubo de uma frequência fundamental em um intervalo de tempo. Além disso, utilizaremos um experimento de difração de fônons por fenda simples para medir uma vez mais o princípio da incerteza no que diz respeito ao momento na direção  $y$  dos fônons que refletem na difração.

## Objetivos

Estudar e aplicar o princípio da incerteza para ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas em experimentos que trabalhem com ondas de grandeza muito pequena.

## Metodologia

### Parte 1. Ondas Mecânicas

Utilizando uma geradora de função acoplada a um aplicador sonoro, geram-se ondas sonoras na frequência de 200Hz durante tempos determinados de 1s a 50s em pausas de 5 segundos. Em um segundo momento, substituímos o sinal sonoro gerado eletronicamente por dispositivos de frequência natural desconhecidas, intituladas de 14A, 14B, 14C e 14D.

As ondas sonoras obtidas foram importadas para o software Origin 8.5 em formato de gráficos de amplitude por ~~frequência~~ por tempo em segundos. Utilizando o procedimento FFT do software foi possível ~~analisar~~ analisar as ondas em

espectros de frequência (gráficos de amplitude por frequência) e localizar os picos de sinal em determinadas frequências, no caso dos sinais eletrônicos todos os picos parecem em torno de 800 Hz como esperado, e enfatizar nos diagramas essa informação nos deu suas frequências naturais.

Encontrada os picos, utilizam-se a equação não-linear da equação de Lorentz, na curva de amplitude por frequência, equação essa que possui como um dos parâmetros a "largura de banda a meia altura (W)" em torno da frequência principal daquela picos. Esse parâmetro foi considerado como incerteza da medida de frequência ( $W = \Delta f$ ) para os cálculos da propagação da incerteza. Além disso, adotam-se os tempos de duração do sinal ( $\Delta t$ ) em que se acreditava conter a frequência natural de cada sinal.

## Parte 2 - Ondas eletromagnéticas

Nessa parte utilizam-se os dados de um experimento de difração de fôtons por uma fenda simples. Mede-se a largura da fenda por onde passam os fôtons considerando como medida a incerteza da posição do fôton em relação a  $Y$  ( $\Delta Y$ ), uma vez que não se sabe exatamente onde esse fôton está, só se sabe que ele está entre as aberturas da fenda. Mede-se, também, a largura do máximo de difração e associa-se essa medida à incerteza do momento do fôton em relação a  $Y$  ( $\Delta p_y$ ), uma vez que ter fôtons espalhados na direção  $Y$  prova que houve momento nessa direção. Com isso, comprovou-se mais de uma vez o princípio da incerteza!

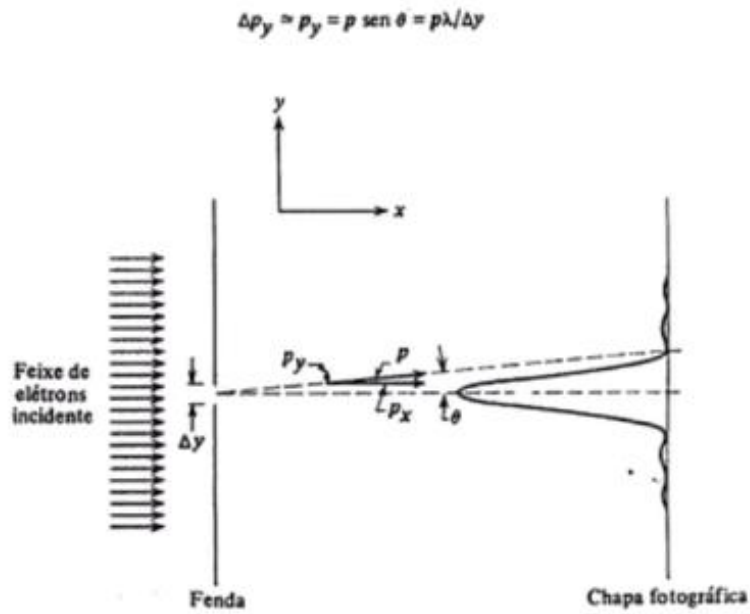


Figura1-explicação parte 2- Experimento de difração de elétrons

### Resultados

Gráfico1- Sinal eletrônico de 30s

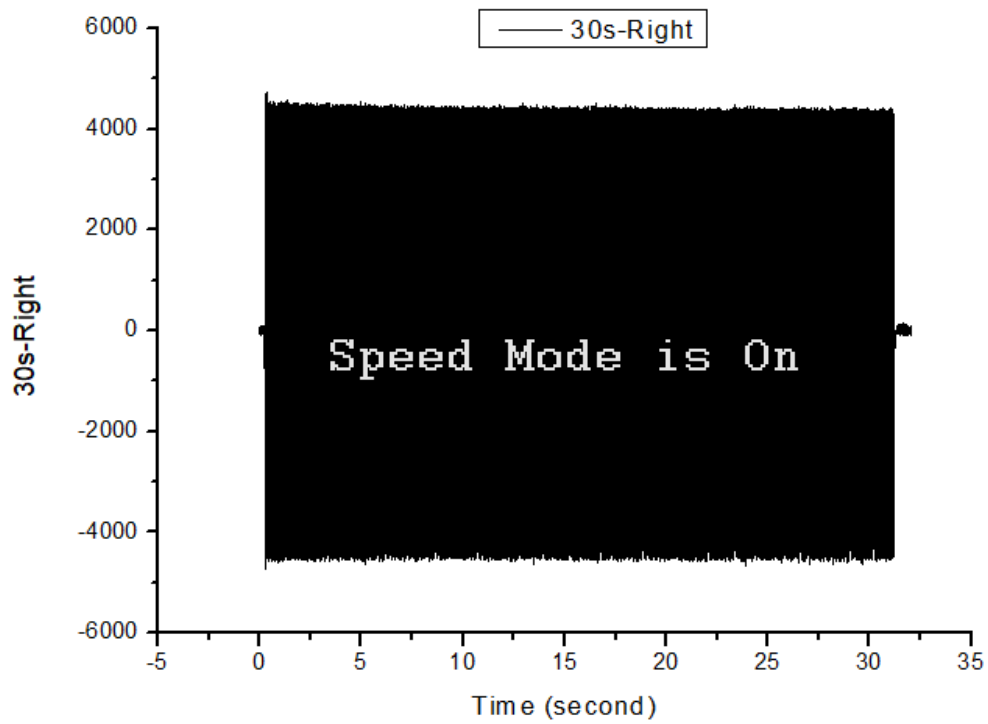


Gráfico2-FFT sinal de 30s

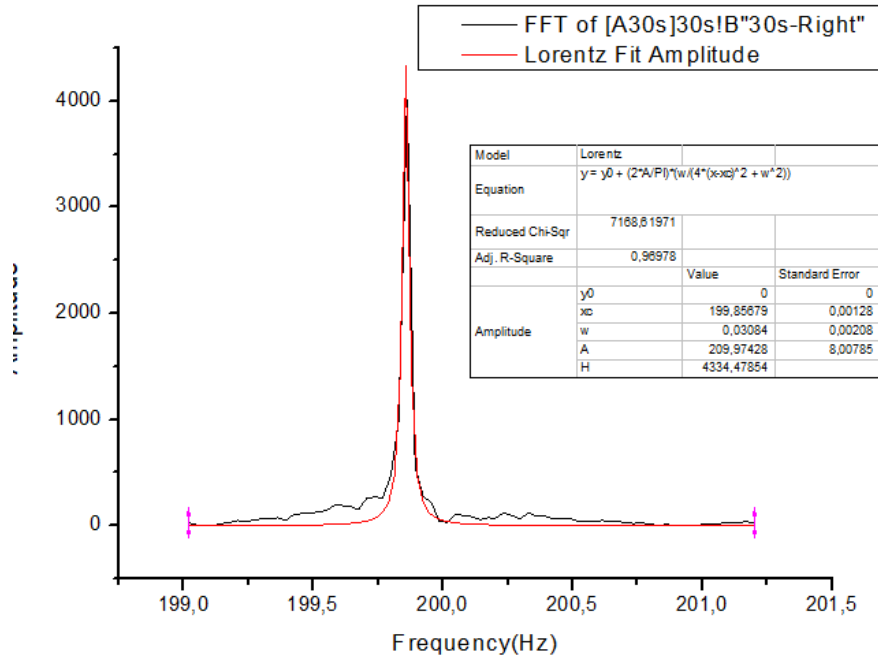


Gráfico3- Sinal do diapasão 14B

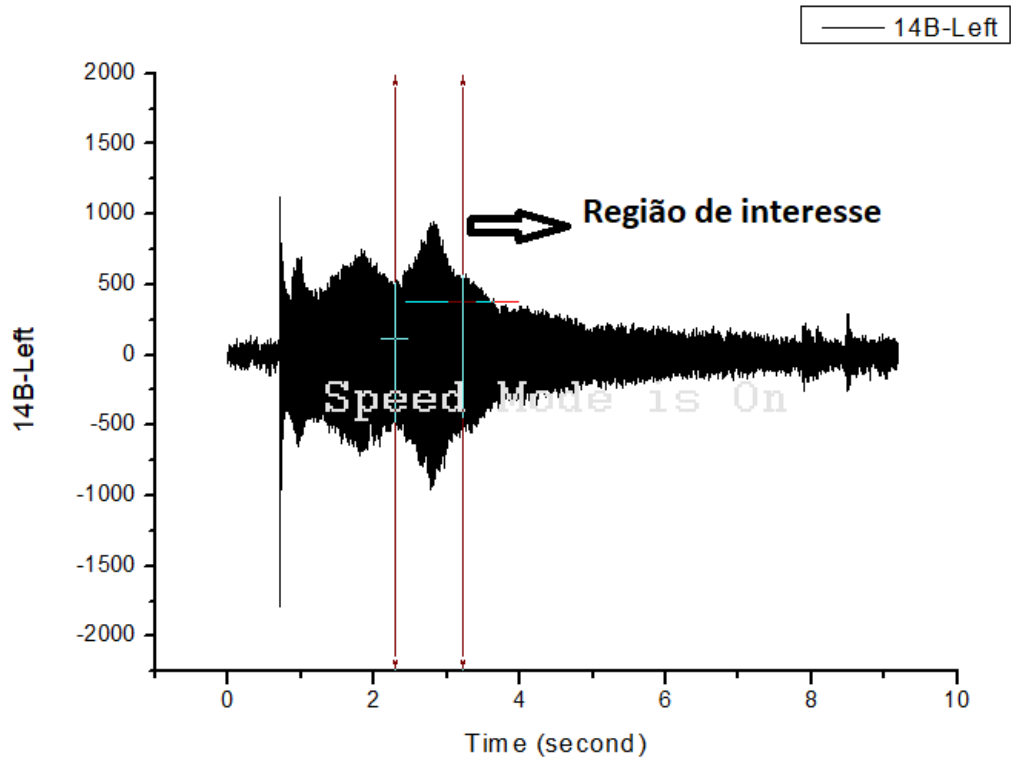


Gráfico4- FFT sinal 14B

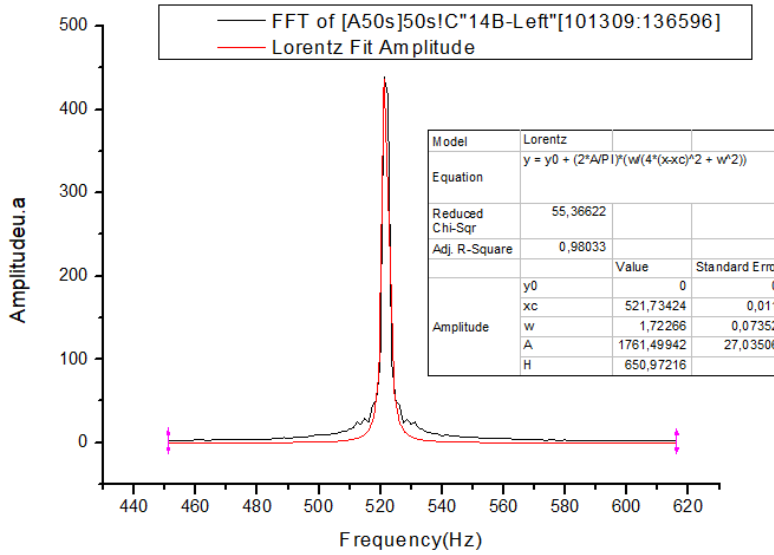


Tabela 1- Resultados Ondas mecânicas

Medida	f(Hz)	$\Delta f$ (Hz)	$\Delta E$ (J)	$\Delta T$ (s)	$\Delta E \cdot \Delta T$	Hcort./2	respeita P.I.?
1s.l	199,66	0,91699	6,076E-34	1	6,08E-34	5,27286E-35	1
5s.l	199,91	0,26488	1,7551E-34	5	8,78E-34	5,27286E-35	1
10s.l	199,8645	0,1143	7,5736E-35	10	7,57E-34	5,27286E-35	1
15s.l	199,8491	0,05414	3,5874E-35	15	5,38E-34	5,27286E-35	1
20s.l	199,8601	0,05299	3,5112E-35	20	7,02E-34	5,27286E-35	1
25s.l	199,8555	0,0562	3,7239E-35	25	9,31E-34	5,27286E-35	1
30s.l	199,8568	0,03084	2,0435E-35	30	6,13E-34	5,27286E-35	1
35s.l	199,8568	0,01348	8,9319E-36	35	3,13E-34	5,27286E-35	1
40s.l	199,8527	0,03077	2,0388E-35	40	8,16E-34	5,27286E-35	1
45s.l	199,8339	0,02539	1,6824E-35	45	7,57E-34	5,27286E-35	1
50s.l	199,8321	0,00959	6,3544E-36	50	3,18E-34	5,27286E-35	1
<b>14A</b>	377,652	62,2078	4,1219E-32	0,04391	1,81E-33	5,27286E-35	1
<b>14B</b>	521,739	1,72266	1,1414E-33	7,62E-01	8,7E-34	5,27286E-35	1
<b>14C</b>	6980,142	38,29838	2,5377E-32	1,86E+00	4,72E-32	5,27286E-35	1
<b>14D</b>	810,609	0,21316	1,4124E-34	5,43E+00	7,67E-34	5,27286E-35	1

Tabela 2- Resultados Ondas eletromagnéticas (Difração de fótons)

$\Delta y(\text{mm})$	$\Delta P_y(\text{mm})$	$\Delta y \cdot \Delta P_y$	Hcort./2	respeita P.I?
0,0100	0,0265	0,000265	5,2729E-35	1
0,0101	0,0190	0,00019095	5,2729E-35	1
0,0101	0,0105	0,00010605	5,2729E-35	1
0,0102	0,0080	0,0000812	5,2729E-35	1
0,0102	0,0065	0,0000663	5,2729E-35	1
0,0103	0,0050	0,00005125	5,2729E-35	1
0,0103	0,0040	0,0000412	5,2729E-35	1
0,0104	0,0035	3,6225E-05	5,2729E-35	1
0,0104	0,0032	0,00003328	5,2729E-35	1

Discussões

Referências

-Física Quântica Eisberg;

-Roteiro e materiais de apoio disponíveis da disciplina;