

## EXPERIMENTO 6 - PRINCÍPIO DA INCERTEZA

RESUMO: O PRINCÍPIO DA INCERTEZA CONSISTE DA RELAÇÃO ENTRE AS INCERTEZAS RELATIVAS À POSIÇÃO E MOMENTO DE UMA PARTÍCULA, ESTABELECEndo UM LIMITE INFERIOR. NESTE EXPERIMENTO FOI APLICADA TAL EM UMA TRANSFORMADA DE FOURRIER DE DIFERENTES TEMPOS DE PACOTE DE ONDAS GONDA. OS RESULTADOS FORAM SATISFATORIOS E REAFIRMAM A VALIDADE DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA.

INTRODUÇÃO: O PRINCÍPIO DA INCERTEZA É PARTE FUNDAMENTAL DA COMPOSIÇÃO DA MECÂNICA QUÂNTICA, UMA VEZ QUE O PRINCÍPIO É INTIMAMENTE CORRELATO ÀS LEIS QUÂNTICAS QUE REGEM O FENÔMENO ONDULATORIO. O QUE DE FATO ESSE PRINCÍPIO DIZ É QUE: QUANTO MAIS PRECISA UMA MEDIÇÃO DE UMA GRANDEZA, ENTRE MOMENTO E POSIÇÃO, MENOS PRECISA É A OUTRA.

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

EQ. 1 (PRINCÍPIO DA INCERTEZA)

ONDE  $\Delta x$  É A INCERTEZA DA POSIÇÃO DA PARTÍCULA,  $\Delta p$  A INCERTEZA DE SEU MOMENTO LINEAR E  $\hbar = \hbar/2\pi$  EM QUE  $\hbar$  É A CONSTANTE DE PLANCK.

ATRAVÉS DAS RELAÇÕES DE DE BROGLIE:  $p = \hbar k$  E DE EISTEIN:  $E = \hbar \omega$  É POSSÍVEL REESCREVER O PRINCÍPIO DE INCERTEZA, PARA UMA ONDA, DA SEGUINTE FORMA:

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

EQ. 2 (PRINCÍPIO DA INCERTEZA P/ ONDA)

ESTE PRESENTE RELATÓRIO TEM COMO OBJETIVO O ESTUDO DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA ATRAVÉS DO EMPREGO DE ONDAS MECÂNICAS E ELETROMAGNÉTICAS.

### MATERIAIS E MÉTODOS:

O EXPERIMENTO PODE SER DIVIDIDO EM DUAS PARTES, ONDE CADA QUAL FAZ O USO DE UM TIPO DE ONDA PARA O ESTUDO DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA.

### PARTE 1:

TENDO UMA FONTE DE FREQUÊNCIA VARIÁVEL FIXADA EM 200 HZ, FORAM GERADAS ONDAS SONORAS LIGANDO-A A UM AUTO-FALANTE. ESSAS ONDAS FORAM CAPTADAS POR UM MICROFONE CONECTADO A UM COMPUTADOR QUE FICA RESPONSÁVEL POR CRIAR UM ARQUIVO DE ÁUDIO CONTENDO A GRAVAÇÃO.

O PROCEDIMENTO É REALIZADO PARA TEMPOS DE PACOTE DE ONDA DE 1 A 50 SEGUNDOS, COMEÇANDO EM 5.

COM OS DADOS FOI REALIZADA A TRANSFORMADA DE FOURIER ATRAVÉS DE UM SCRIPT ESCRITO EM PYTHON QUE RETORNA TANTO O GRÁFICO DA TRANSFORMADA QUANTO O VALOR DE LARGURA DE BANDA DE MEIA ALTURA (FWHM).

### PARTE 2:

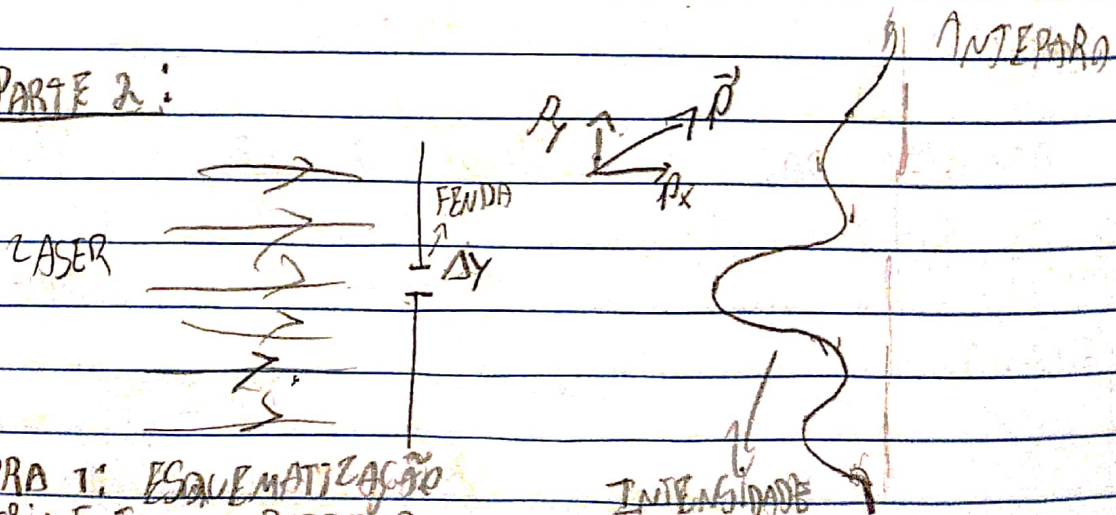


FIGURA 1: ESQUEMATIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA PARTE 2.

INCIDIU-SE UM FEIXE LASER SOB UMA FENDA DE TAMANHO VARIÁVEL. E MEDIU-SE A DISTÂNCIA DOS DOIS PONTOS DE MÁXIMO RESULTANTES DA DIFRAÇÃO. COLETOU-SE VALORES DESTA DISTÂNCIA PARA 8 TAMANHOS DA FENDA DISTINTOS.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

### • PARTE 1:

SE OBTIVERAM 11 GRÁFICOS COMO O GRÁFICO 1, QUE NÃO FORAM POSTOS NESTE RELATÓRIO, SENDO CADA QUAL PARA UM VALOR DE  $\Delta t$ .

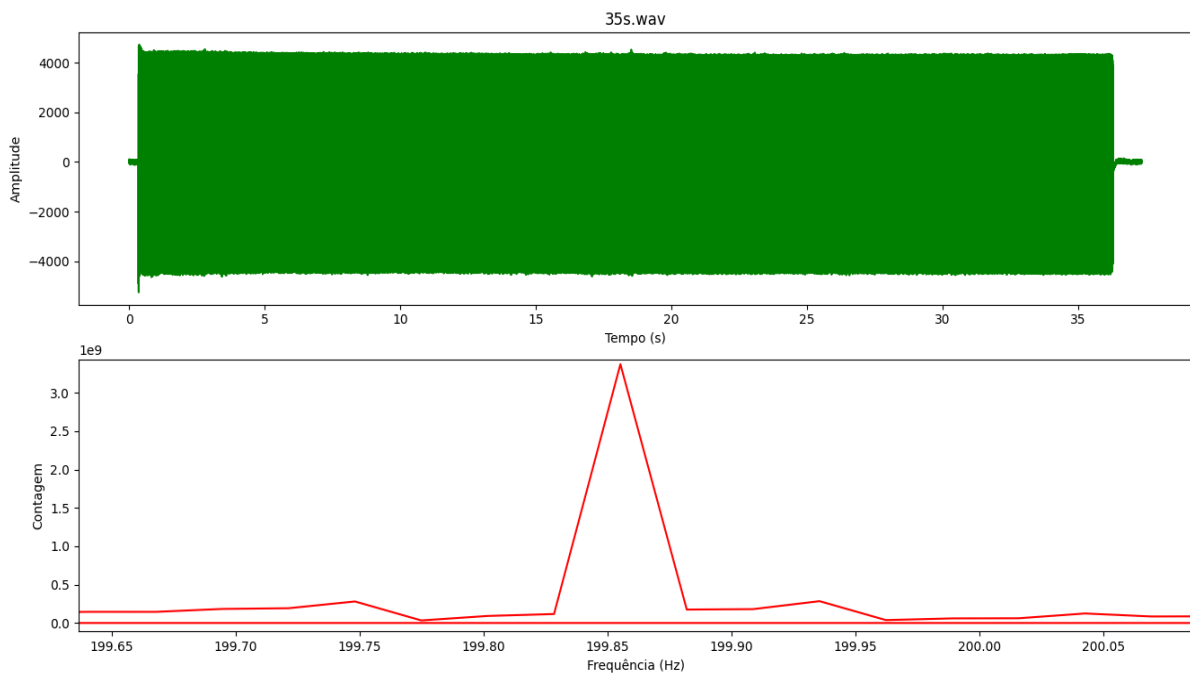


GRÁFICO 1: FFT (TRANSFORMADA DE FOURRIER) DOS DADOS PARA  $\Delta t = 35 \mu s$ .

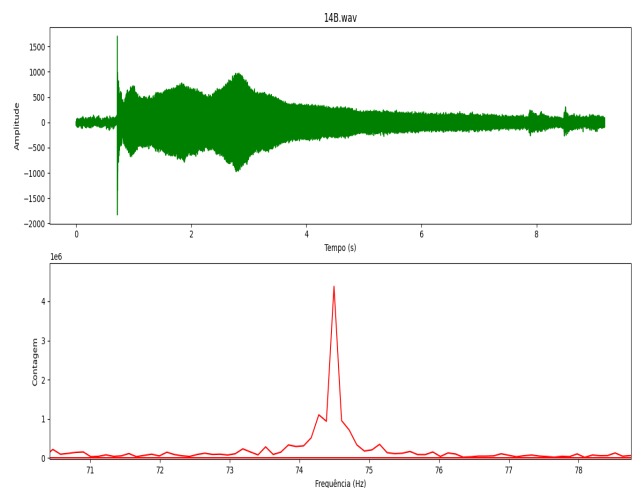
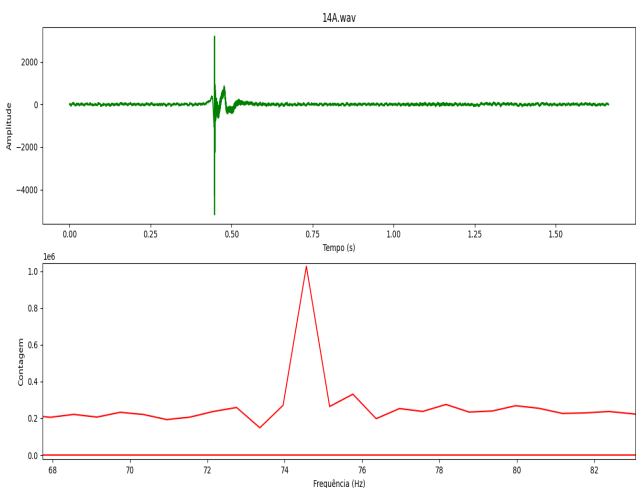
TEM-SE ENTÃO A SEGUINTE TABELA, QUE MOSTRA OS VALORES OBTIDOS DE FWHM,  $\Delta f$  (UTILIZANDO A RELAÇÃO DE ESTEIN E DE FREQUÊNCIA PICO, PARA CADA  $\Delta t$ , TENDO TAMBÉM OS VALORES DE  $\Delta f \cdot \Delta t$  E DE  $\frac{\Delta f}{\Delta t}$ .

Pico (Hz)	FWHM (Hz)	$\Delta T$ (s)	$\Delta f \cdot \Delta t$	$\Delta E$ (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 OBTIDOS DA PARTE 1 DOS EXPERIMENTOS.

O VALOR MÉDIO PARA OS PICOS SE MOSTROU COERENTE COM A FONTE DE FREQUÊNCIA, O QUE JÁ ERA ESPERADO. JÁ OS VALORES DE FWHM DICEM SOBRE A INCERTEZA DESTES VALORES DO PICO, QUE É PROPAGADO AO  $\Delta E$ . POR FIM, TODOS VALORES DO  $\Delta E \cdot \Delta t$  SAÍSISSERAM A CONDIÇÃO PROPOSTA PELO PRINCÍPIO DA INCERTEZA, MOSTRANDO COERÊNCIA.

FOI REALIZADO AINDA O PROCEDIMENTO PARA 24 DIAPÓSIS DIFERENTES, O QUE RESULTOU EM:



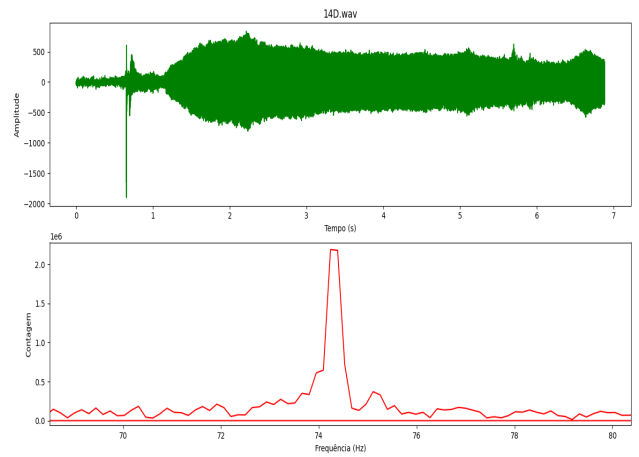
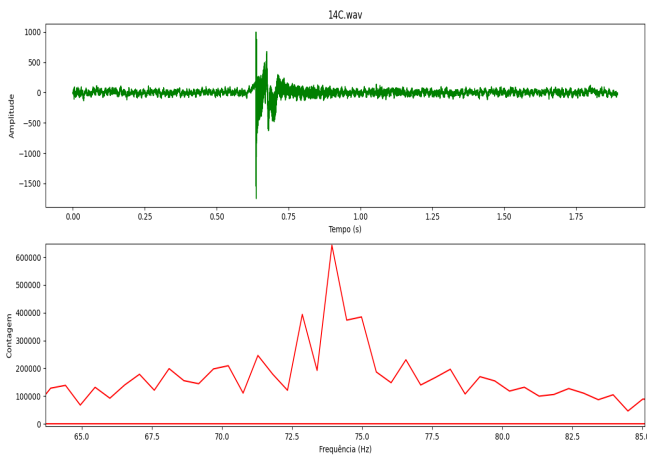


GRÁFICO 2: GRÁFICOS OBTIDOS PELA FFT DOS ESPECTROS DOS DIAPASÕES DISPONÍVEIS.

Pico (Hz)	FWHM (Hz)	$\Delta T$ (s)	$\Delta f \Delta t$	$\Delta E$ (J)	$\Delta E \Delta t$ (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: DADOS OBTIDOS PARA OS DIFERENTES DIAPASÕES.

PARA TODOS OS DIAPASÕES O PRINCÍPIO DA INCERTEZA É VALIDADO, COMO O ESPERADO.

PARTE 2:

NESTA PARTE, O PRINCÍPIO DA INCERTEZA SE APLICA VISIVELMENTE QUANDO OBSERVADA A POSIÇÃO  $y$  DO FÓTON E SEU MOMENTO  $p_y$ . SABE-SE QUE O MOMENTO  $p_y$  DO FÓTON, ANTES DE PASSAR PELA FENDA, É  $p_y = 0$ . JÁ APÓS A FENDA, ESSE PASSA A TER UM VALOR COM INCERTEZA DADA POR  $\Delta p_y$ , ONDE  $\Delta p_y \Delta y = \hbar > \hbar/2$ , QUE SATISFAZ O PRINCÍPIO DA INCERTEZA.

## CONCLUSÃO

FOI POSSÍVEL OBSERVAR O PRINCÍPIO DA INCERTEZA ATRAVÉS DO PRESENTE EXPERIMENTO ATRAVÉS DE SUA APLICAÇÃO NAS ONDAS MECÂNICAS, BEM COMO NA SUA OBSERVAÇÃO EM UM APARATO DE FENDA SIMPLES E UM LASER.