



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS VIII  
CENTRO CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA  
LICENCIATURA EM FÍSICA**

**ALDAISA DA CONCEIÇÃO GALDINO**

**MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS LINHAS ESPECTRAIS DO  
MERCÚRIO E HÉLIO, ATRAVÉS DO MÉTODO DE YOUNG.**

**ARARUNA**

**2022**

ALDAISA DA CONCEIÇÃO GALDINO

**MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS LINHAS ESPECTRAIS DO  
MERCÚRIO E HÉLIO, ATRAVÉS DO MÉTODO DE YOUNG.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento do Curso  
Licenciatura em Física da Universidade  
Estadual da Paraíba, Como requisito  
parcial à obtenção do título de Licenciado  
em Física.

**Área de concentração:** Física

**Orientador:** Prof. Dr. Mário César Soares Xavier

ARARUNA

2022

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

G149m Galdino, Aldaisa da Conceicao.  
Medida do comprimento de onda das linhas espectrais do Mercúrio e Hélio, através do método de Young [manuscrito] / Aldaisa da Conceicao Galdino. - 2022.  
33 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Mário Cesar Soares Xavier, Coordenação do Curso de Física - CCTS. "

1. Ondas. 2. Física. 3. Mercúrio. I. Título

21. ed. CDD 530.124

ALDAISA DA CONCEIÇÃO GALDINO

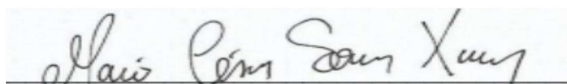
**MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA DAS LINHAS ESPECTRAIS DO  
MERCÚRIO E HÉLIO, ATRAVÉS DO MÉTODO DE YOUNG.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento do Curso  
Licenciatura em Física da Universidade  
Estadual da Paraíba, Como requisito  
parcial à obtenção do título de Licenciado  
em Física.

**Área de concentração:** Física

Aprovada em: 14/12/2022

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Mário César Soares Xavier

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. Robson Vieira Silva

Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe pela dedicação e orações  
em meus momentos difíceis, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me guiar e não deixar que as dificuldades me deixassem desistir.

A minha mãe por sempre se fazer presente, acreditando em mim.

A minhas irmãs e irmão: Maria José, Aldair, Aline e Kaline, por me ajudarem muitas vezes durante a graduação e me proporcionarem momentos de descontração.

Aos que me ajudaram de forma direta ou indiretamente para que eu conseguisse concluir essa etapa.

“Azul e verde e cinza-  
Olhando bem, o céu é  
de todas as cores”

Paulo Franchetti

## RESUMO

A espectroscopia estuda a interação da radiação com a matéria para analisar uma determinada amostra. Desde a antiguidade já se estudava a respeito da natureza das cores, no entanto, foi apenas em 1666 que Isaac Newton ao decompor a luz do sol por um prisma conseguiu explicar esse fenômeno. A partir disto, muitos cientistas se motivaram a estudar os tipos de espectros formados com o uso dos elementos químicos, chegando a evidência de que além das radiações que enxergamos a olho nu, também existe as radiações que o olho humano não consegue captar. Diante desses conhecimentos, o trabalho aqui exposto teve o objetivo de medir o comprimento de onda do espectro do Hélio e Mercúrio através do método de Young, e analisar o comportamento gráfico da intensidade por comprimento de onda utilizando o Software livre SciDAVis. Ao fim do trabalho foi visto que os resultados chegaram próximo do que a literatura nos apresenta na maioria dos resultados para o Hélio. Ouve uma divergência dos comprimentos de onda do espectro de Hélio nas cores, violeta e violeta-azul e para o Mercúrio nas cores, violeta verde e amarelo, tais erros ocasionados por algum fator experimental.

**Palavras-chave:** Espectroscopia; Método de Young; Hélio; Mercúrio.



## ABSTRACT

Spectroscopy studies the interaction of radiation with matter to analyze a given sample. Since antiquity, the nature of colors has been studied, however, it was only in 1666 that Isaac Newton, when decomposing sunlight through a prism, was able to explain this phenomenon. From this, many scientists were motivated to study the types of spectra formed with the use of chemical elements, arriving at the evidence that in addition to the additions that we see with the naked eye, there are also radiations that the human eye cannot capture. Given this knowledge, the work presented here had the objective of measuring the wavelength of the spectrum of Helium and Mercury through the Young's method, and analyzing the graphic behavior of the intensity by wavelength using the free software SciDAVis. At the end of the work, it was seen that the results were close to what the literature presents us with in most of the results for Helium. There is a divergence of the wavelengths of the Helium spectrum in the colors, violet and violet blue and for Mercury in the colors, violet, green and yellow, such errors caused by some experimental factor.

**Keywords:** Spectroscopy; Young's method; Helium; Mercury

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação do método experimental de Newton.....	15
Figura 2: característica dos espectros .....	15
Figura 3: Espectro eletromagnético .....	17
Figura 4: Experimento da incidência da radioatividade .....	18
Figura 5: Representação de uma molécula diatômica .....	19
Figura 6: Mudanças de energia para o átomo do Hidrogênio.....	19
Figura 7: Espectro de Hélio nas linhas de emissão e absorção .....	22
Figura 8: Espectro do Mercúrio nas linhas de emissão e absorção .....	25
Figura:9 Experimento de Young.....	25
Figura 10: Aparato experimental: (1) fonte de alta tensão, (2) rede de difração, (3) fonte laser, (4) suporte para lâmpada, (5) trena milimétrica, (6) banco ótico. ....	25
Figura 11: Setup experimental: Representação da montagem experimental.....	26
Figura 12: Registro do espectro de emissão do He .....	28
Figura 13: Gráfico de intensidade em relação ao comprimento de onda para o caso do He. ....	29
Figura 14: Registro do espectro de emissão do Hg .....	30
Figura 15: Gráfico de intensidade em relação ao comprimento de onda para o caso do Hg .....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Medidas com o He e as cores correspondentes. ....	28
Tabela 2: He: Valores dos comprimentos de ondas calculados e apresentados na literatura .....	29
Tabela 3: Medida das distâncias e a cor correspondente.....	30
Tabela 4: Valores dos comprimentos de onda calculados e apresentados na literatura .	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>UMA BREVE HISTÓRIA DA ESPECTROSCOPIA</b>	<b>12</b>
2.1	Espectro eletromagnético	15
2.2	Modelos atômicos	15
2.3	Princípio de Franck- Condon	17
2.3.1	Espectro Rotacional	17
2.3.2	Espectro vibracional	18
2.3.3	Espectro eletrônico	19
2.4	O modelo atômico de Bohr para o átomo de Hidrogênio	19
2.4.1	Séries espectrais	20
2.4.2	Rede de difração	21
2.5	Espectro do átomo de Hélio	21
2.6	Espectro do átomo de mercúrio	22
2.7	Método de Young	23
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>28</b>
4.1	Análise do espectro de Hélio (He)	28
4.2	Análise do espectro de Mercúrio (Hg)	30
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>32</b>
	REFERÊNCIAS	33

## 1 INTRODUÇÃO

Isaac Newton, em 1666, demonstrou que a luz do sol pode se decompor nas cores que enxergamos. Além de Isaac Newton outros cientistas contribuíram para os estudos da espectroscopia como, Albert Einstein, Christiaan Huygens, Joseph Fraunhofer, Thomas Young, Gustav Robert Kirchhoff e Robert Wilhelm Bunsen. Ao longo dos estudos a respeito dessa área foram descobertas formas de obter os diferentes tipos de espectros e, medir os comprimentos de onda que os espectros de linha apresentam, onde cada elemento possui características espectrais únicas como vamos ver ao longo desse trabalho.

O trabalho será desenvolvido através do método de Young de forma adaptada com os equipamentos disponíveis, tendo como objetivo medir os comprimentos de onda dos elementos químicos Hélio e Mercúrio. Além disso, identificar as características dos espectros, de forma experimental e verificar os resultados obtidos com os resultados da literatura.

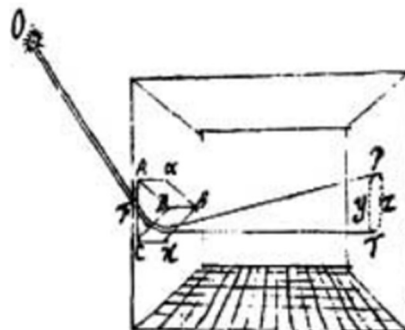
Com base no processo histórico e das contribuições a respeito da espectroscopia, será mostrado os tipos de espectros e como são formados os espectros contínuo, o espectro de emissão e o espectro de radiação, na sessão seguinte será mostrado algumas das áreas que fundamentam o estudo da espectroscopia, sendo a espectroscopia eletromagnética e molecular, na terceira mostraremos a metodologia adotada para a realização do experimento, bem como os equipamentos, para isto foi utilizado também a Software sciDAVis para demonstrar graficamente a frequência e comprimento de onda dos espectros, e na última sessão discutiremos os resultados obtidos no nosso experimento por meio de tabelas, imagens e gráficos.

## 2 UMA BREVE HISTÓRIA DA ESPECTROSCOPIA

Foram muitas as contribuições a respeito da espectroscopia, desde observar a decomposição das cores até estudar a natureza dos espectros, como posição e quantidade das linhas de um elemento específico. As descobertas sobre a formação das cores e das suas composições atômicas, fizeram com que chegássemos hoje à descrição que conhecemos do estudo entre a radiação e a matéria.

A começar por Newton, que em 1666 realizou o experimento do prisma para decompor a luz solar nas cores do arco-íris, na qual consiste na passagem da luz por um orifício na parede, quando a luz incide no um prisma, resultando no espectro da luz visível, na Fig. (1) está representado o modelo experimental de Newton

**Figura 1:** Representação do método experimental de Newton



**Fonte:** Martins (2003, 56)

Em meados de 1802 o químico inglês Willian Hyde Wollaston, analisou esse fenômeno do prisma de Newton, entretanto, ele notou um comportamento distinto das linhas e não obteve sucesso em interpretá-las.

Wollaston inspirou muitos cientistas e pesquisadores, motivando a estudar a origem desse espectro de linhas escuras. Um deles foi o cientista Joseph Von Fraunhofer, que também notou as linhas mais escuras no espectro, em 1820 e desenvolveu um trabalho importante com base na experimentação de Wollaston Fraunhofer conseguiu contabilizar 574 linhas escuras, denominando as mais proeminentes de A até K (FILGUEIRAS, 1996).

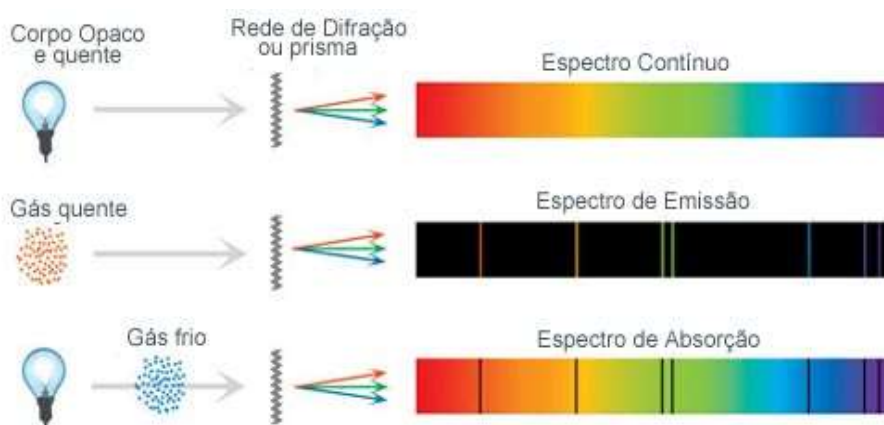
Nesse contexto vale a pena mencionar alguns conceitos mais gerais que podem auxiliar a entender as linhas escuras que aparecem no espectro. No início do século XIX sabia-se que se misturasse sais de alguns metais a pólvora, seria possível obter fogos de

artifício coloridos. Ainda no século XIX descobriu-se que se adicionar esses sais na chama do fogo ela automaticamente mudaria sua coloração. Toda essa análise nos faz chegar a um outro químico chamado, Robert Wilhelm Von Bunsen, que desenvolveu um trabalho voltado ao estudo da luz quando diferentes sais são queimados.

Em 1860, se junta a Bunsen o físico Robert Kirchhoff, dessa união surgiu a criação do espectroscópio, que tinha como aparato o bico de Bunsen para a queima dos elementos, tendo como vantagem a chama incolor, o prisma no interior do equipamento, alguns tubos para que a luz pudesse passar, um colimador, um telescópio e uma plataforma (DIAS, 2012). O espectroscópio tinha a capacidade de regular seu telescópio, proporcionando caminhos para identificar a posição da luz de cores específicas, medindo por exemplo, o ângulo formado e o comprimento de onda dessas linhas.

Com a execução do experimento, Bunsen e Kirchhoff obtiveram como resultado um espectro semelhante com linhas. Esses testes foram realizados com diferentes elementos, e em todos resultou em um espectro de linhas, com linhas em localizações distintas. Através dessa observação, foi visto que cada experimento possui um espectro próprio, como se fosse uma identidade pessoal ou uma espécie de impressão digital.

Ao analisarem a luz branca atingindo uma chama queimando o elemento Sódio, em seguida incidindo no prisma, presumiam que o espectro de Sódio se sobreposse o espectro contínuo e formasse linhas mais escuras, mas na realidade o que observaram foi o desaparecimento dessas linhas no espectro, e o aparecimento de linhas escuras na mesma posição. Pelo mesmo procedimento se descobriu a presença de outros elementos no espectro solar como, Mg, Ca, Cr, Co, Zi, Ba e Ni. (DIAS, 2012). Mediante a tantas descobertas Kirchhoff desenvolveu as três leis da espectroscopia, que resulta no espectro contínuo, espectro de emissão e o espectro de absorção, como podemos observar na Fig. (2).

**Figura 2:** característica dos espectros

**Fonte:** Apollo 11.com (2000)

Espectro contínuo: Quando temos um corpo opaco e quente como por exemplo uma lâmpada, e a emissão passa por um prisma ou rede de difração, a luz é decomposta gerando um espectro contínuo. Espectro de emissão: Se temos um gás, e esse é aquecido por um bico de Bunsen ou uma fonte de alta tensão, será emitida luz resultando em um espectro de linha brilhantes, dependendo do elemento químico do gás que está sendo utilizado as linhas aparecem em diferentes posições. Espectro de absorção: Quando a luz branca passa por um gás frio são formadas linhas escuras, neste caso o número e a posição dessas linhas dependem do elemento químico presente no gás.

Com os estudos, foi visto que além das cores visíveis também existe as radiações que o olho humano não consegue captar. De acordo com a mecânica quântica, a radiação eletromagnética possui propriedade dual, ou seja, hora se comporta como onda e hora se comporta como partícula.

Para comprovar as duas teorias, foram efetuados experimentos como, o experimento da dupla fenda de Young, que se deu pela natureza ondulatória, e o experimento do efeito fotoelétrico de Einstein, embasado na teoria corpuscular, na qual foi premiado com o Nobel da física. O efeito fotoelétrico fez com que visasse que a radiação eletromagnética é quantizada, formada por pacotes de ondas discretas e fótons, sendo cada um com uma certa energia, essa teoria criada por Einstein só foi viável pelo fato de Marx Planck ter relacionado em seus estudos anteriores, a energia dos fótons com a sua frequência.

A espectroscopia eletromagnética é formada por comprimentos de onda que vão de  $10^3\text{m}$  a  $10^{-12}\text{m}$  e frequência  $10^4\text{ Hz}$  a  $10^{20}\text{ Hz}$ . A partir desse conhecimento



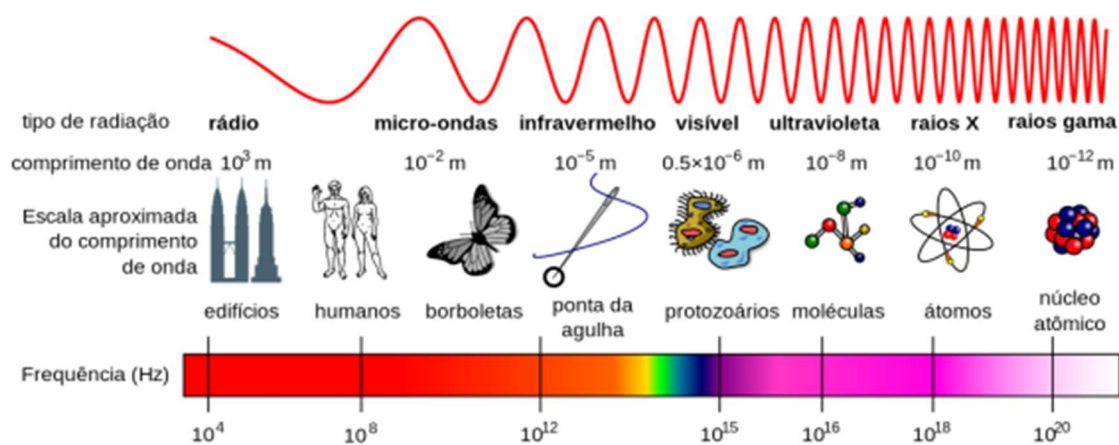
intensificou-se a trajetória rumo ao estudo do espectro eletromagnético de diferentes elementos químicos.

## 2.1 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é composto por ondas eletromagnéticas com variedade de comprimentos de onda e frequências de oscilação. Historicamente, James Clark Maxwell contribuiu significativamente para o desenvolvimento do espectro eletromagnético por meio das suas equações. Ele havia unificado conceitos como os de Ampère e de Faraday e conseguiu comprovar que ondas eletromagnéticas são constituídas por campos elétricos e magnéticos, os quais oscilam perpendicularmente um em relação ao outro.

A Fig. (3) nos mostra uma variedade de comprimentos de onda e frequências presentes na natureza. A escala varia das ondas de rádio, cujo comprimento de onda é de  $10^3 m$ , até aos raios gama com comprimento de onda de  $10^{-12} m$ .

**Figura 3:** Espectro eletromagnético



**Fonte:** Barros (2018, p.34)

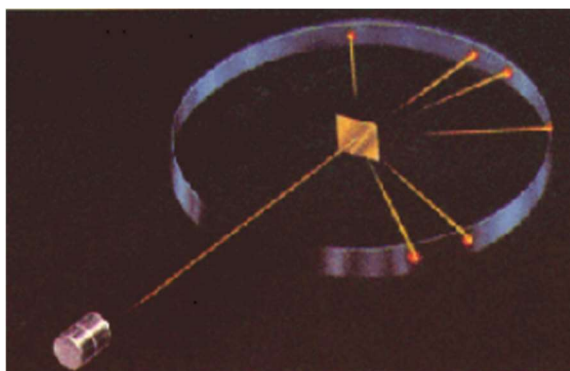
A frequência e o comprimento de onda são grandezas inversamente proporcionais, ou seja, quando a frequência aumenta, o comprimento de onda diminui, e quando o comprimento de onda aumenta a frequência diminui. A energia no espectro eletromagnético vai aumentando conforme a frequência aumenta. Como podemos ver na fig. (3), os Raios-X são mais energéticos que os raios da luz visível, a luz visível possui comprimento de onda de 400 a 750 nm.

## 2.2 Modelos atômicos

Os modelos atômicos consistem em formas de tentar entender a composição da matéria, tendo o átomo como a menor estrutura. Muitos modelos atômicos foram criados ao longo da história até que chegássemos atualmente ao modelo atômico aceito, dentre os modelos mais importantes, podemos falar de três que são, o modelo de Thomson, Rutherford e o modelo de Rutherford-Bohr. Em 1897 Thomson ao estudar os raios catódicos concluiu que as partículas que formam os raios catódicos, se faziam presentes na matéria, dando o nome de elétron para as partículas, tal descoberta fez com que Thomson construísse um modelo atômico em que o átomo seria neutro, com uma parte positiva contendo elétrons presentes na estrutura, porém, existiria um problema no modelo de Thomson que confrontava o experimento de dispersão de partículas  $\alpha$ , Conforme Caruso (2006, P.353) “Thomson admitia que a distribuição positiva de cargas não possuía massa. Nesse caso a massa atômica deveria ser dada pela massa do número total de elétrons contínuos de átomos”.

A fim de estudar o fenômeno da radioatividade, foi criado um novo modelo atômico por Ernest Rutherford, pois o modelo de Thomson não conseguia explicar tal fenômeno, Rutherford em 1909, chegou em um dos mais importantes passos da física atômica, mostrando que a carga positiva se concentra no núcleo do átomo que é cercado por uma nuvem de elétrons tendo carga elétrica negativa. Rutherford alcançou essa teoria através do experimento que basicamente consistia no bombardeio de folhas de ouro com partículas  $\alpha$ , resultou que 1 em cada 20 000 partículas incidentes eram refletidas na mesma direção da incidência (FILHO E SARAIVA,2007.). Na Fig. 4 podemos ver de forma demonstrativa como foi realizado o experimento.

**Figura 4:** Experimento da incidência da radioatividade



**Fonte:** Astro (2007)

Mesmo com as descobertas de Rutherford, o problema da estabilidade do núcleo não era solucionado, pois com a perda de energia dos elétrons havia uma grande emissão

de radiação em diferentes comprimentos de onda. Em 1913 Niels Bohr conseguiu explicar o comportamento dos elétrons relacionando as transições de orbitas, nesse caso, quando o elétron é aquecido ele transita para uma orbita maior e depois retorna a sua orbita de origem, nesse processo o elétron emite a quantidade de energia recebida como luz. (CARUSO, 2006). Atualmente o modelo atômico que conhecemos, nos mostra que o núcleo é formado por prótons e nêutrons.

## 2.3 Princípio de Franck-Condon

Na espectroscopia há um princípio conhecido como o Princípio de Franck-Condon, o qual é utilizado para determinar a intensidade de energia. Esse princípio nos diz que depois de uma excitação eletrônica, de uma molécula diatômica, ocorre uma movimentação ou desbalanço das cargas em volta dos núcleos dos átomos (EISBERG E RESNICK, 1994).

Existem três tipos de espectros ópticos que correspondem ao princípio de Franck-Condon que são: Espectro Rotacional; Espectros vibracional; e Espectros eletrônicos, na sessão a seguir vamos mostrar como ocorre as transições em cada um dos casos.

### 2.3.1 *Espectro Rotacional*

As transições rotacionais acontecem por meio de transições entre os níveis rotacionais de um dado nível vibracional em um estado eletrônico específico. Segundo Alcantara (2002) “Estes espectros se encontram na região do microondas ou infravermelho distante. Eles consistem em um número de “bandas” que são grupos de linhas estreitamente espaçadas, denominadas de linhas de banda.”

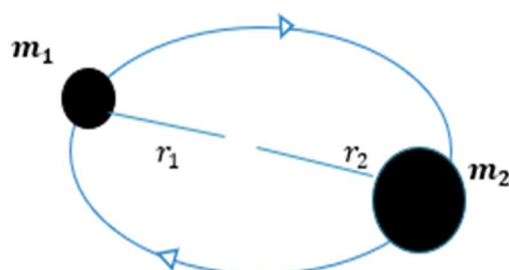
A espectroscopia rotacional estuda a absorção e emissão de radiação eletromagnética, o principal parâmetro desse espectro é o momento de inércia da molécula, dado por:

$$I = \sum m_i r^2_i \quad (1)$$

onde  $m_i = 1,2,3,\dots$ , corresponde a massa da molécula,  $r$  é a distância perpendicular entre

o átomo e  $i$  é o eixo de rotação. Na Fig. (5) podemos ver o movimento rotacional de uma molécula.

**Figura 5:** Representação de uma molécula diatômica



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Como está representado na fig. (5), podemos ver uma molécula de dois átomos com massas  $m_1$  e massa  $m_2$ , onde o centro de massa dele está deslocado para  $m_1$ , no movimento de rotação em torno do eixo que está no centro de massa, temos  $r_i$  que é a distância do centro de massa até  $m_1$  e  $m_2$  que é a distância do centro de massa até  $m_2$ , logo  $r_1+r_2$  é a distância internuclear.

### 2.3.2 Espectro vibracional

A espectroscopia vibracional é dividida em duas técnicas. Uma dessas técnicas é a espectroscopia na região do infravermelho, nela é incidido fótons que possui energia correspondente com a vibração molecular, através da transmitância podemos realizar essa análise. A outra técnica é a espectroscopia Raman, nela é incidido fótons na região do visível. As técnicas de espectroscopia vibracional são importantes também para a caracterização de sistemas, conforme Claro (2018),

Qualquer sistema que contenha átomos ligados entre si tem movimentos rotacionais, desde as moléculas diatômicas aos sistemas biológicos e aos materiais mais diversos. Deste modo as diversas técnicas de espectroscopia vibracional são muito utilizadas, tanto na caracterização de sistemas como em análise química (CLARO, 2018, p. 01).

Uma forma comum de observar espectros vibracionais no infravermelho é pela absorção, também sendo possível visualizar espectro de emissão.

### 2.3.3 *Espectro eletrônico*

Alcantara (2002, p. 03) define, “Espectros eletrônicos consistem de transições entre os níveis rotacionais dos vários níveis vibracionais de um estado eletrônico e os níveis rotacionais e vibracionais de um outro estado eletrônico.”

Assim, nos sistemas moleculares acontece transições tanto de estados vibracionais quanto em estados rotacionais, relacionado aos estados eletrônicos. Conforme EISBERG E RESNICK (1994, P.353) A separação em energia entre os diferentes estados eletrônicos vai de 1 a 10 e v de modo que as transições entre os estados eletrônicos produz uma radiação na região do visível ou ultravioleta do espectro eletromagnético. Dessa forma, as transições no estado eletrônico podem estar no espectro de emissão e absorção.

### 2.4 O modelo atômico de Bohr para o átomo de Hidrogênio

O modelo atômico a princípio escolhido por Bohr foi o de orbitas circulares, comparado ao movimento dos planetas girando em torno do sol, o elétron se movimentava ao redor do núcleo positivo, o que acarretaria a perda de energia.

Este modelo, muito embora mecanicamente estável, pois a força coulombiana atrativa é a força centrípeta necessária para que o elétron possa mover-se em círculo, e por outro lado eletricamente instável pois o elétron é sempre acelerado em direção ao centro do círculo. De acordo com as leis da termodinâmica, esta carga continuamente acelerada irradiará radiação de frequência igual à do movimento periódico, que no caso corresponde à frequência de revolução (TIPLER, 1981, p. 122).

Posteriormente, Bohr mostrou que era possível que o elétron se movimentasse em algumas orbitas sem irradiar, as órbitas estáveis foram chamadas de estados estacionários. Para Bohr só aconteceria a irradiação caso o elétron realize uma transição de um estado estacionário para outro. (TIPLER, 1981). A frequência da radiação está relacionada com as energias das orbitas dada pela seguinte equação:

$$hf = E_i - E_f \quad (2)$$

Em 1913 Bohr (a partir dos trabalhos de Einstein, Rutherford e Planck) apresentou um modelo que coincidia com dados espectroscópicos, e conseguiu descrever as linhas espectrais do espectro do Hidrogênio, mostrando que para o átomo do Hidrogênio, só pode ser assumido valores múltiplos inteiros da constante de Planck, dividido por  $2\pi$ , dessa forma, o momento angular é quantizado. O modelo atômico de Bohr é aplicado apenas para sistemas que possuem somente um elétron, como por exemplo o átomo de Hidrogênio e os íons hidrogenoides (possuem apenas um elétron).

#### 2.4.1 *Series espectrais*

As linhas que aparecem no espectro de emissão estão relacionadas as transições eletrônicas, quando o elétron transita de um nível de energia mais alto para um nível de energia mais baixo, um fóton é emitido e se ele transita de um nível de energia mais baixo para um nível de energia mais alto, um fóton é absorvido. O comprimento de onda e a energia desse fóton está relacionado a diferença de energia entre esses diferentes níveis. (TIPLER, 1978).

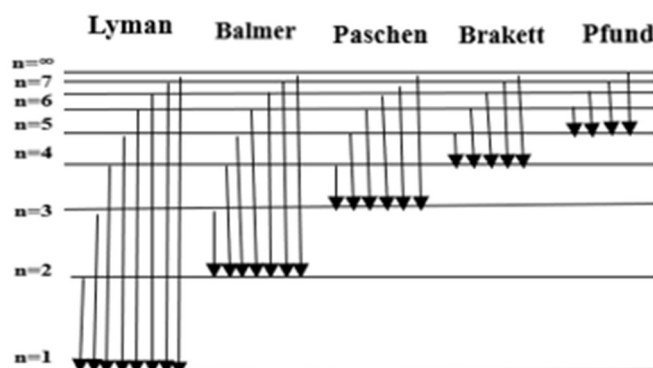
Johan Balmer encontrou empiricamente para o espectro de Hidrogênio uma equação que relacionou os comprimentos de onda do espectro de emissão, tal equação é representada da seguinte forma:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (3)$$

Onde  $\lambda$  é o comprimento de onda,  $n$  é o nível de energia e R é uma constante.

Na Fig. (6) podemos ver como está dividida as transições de energia para o átomo do Hidrogênio, cada série espectral consiste em uma região diferente no espectro, a série de Balmer para o Hidrogênio está localizada na faixa do espectro visível. Quando os elétrons transitam para o nível 1 (estado fundamental) a série correspondente é a de Lyman que está localizado no ultravioleta, indo para o nível 2 corresponde a série de Balmer que é a faixa do visível, descendo para a nível 3 é a série de Paschen está na faixa do infravermelho, para o nível 4 é a série de Brakett, e descendo para o 5 é a série de Pfund que também correspondem a faixa do infravermelho.

**Figura 6:** Mudanças de energia para o átomo do Hidrogênio



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Para que um elétron transite de um nível de menor energia para um de maior energia, é necessário que ele absorva a diferença de energia entre os dois níveis, como mostra a equação (2).

#### **2.4.2 Rede de difração**

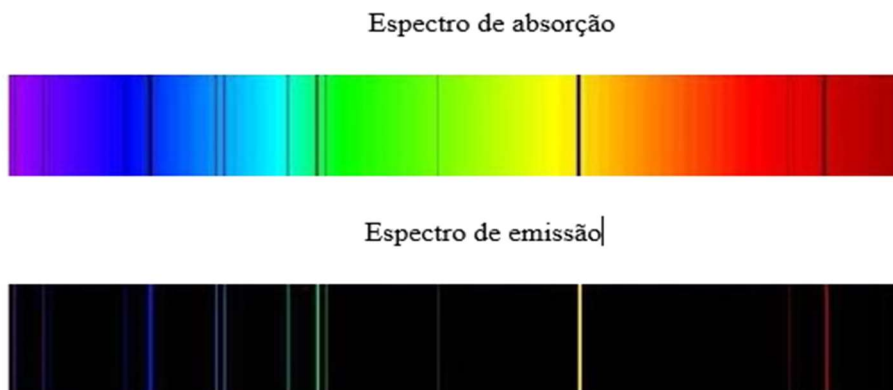
As redes de difração são bastantes utilizadas na medição de comprimentos de onda, analisando também a estrutura e a intensidade dos espectros atômicos desejados. A rede de difração pode ser utilizada em vários equipamentos óticos. Dessa forma, é um instrumento importante na análise da luz, sendo formada por uma chapa de vidro ou metal, com fendas igualmente espaçadas, o número de fendas para o espectro do visível pode variar de 400 a 1200. Quando uma luz incide nas fendas o resultado será a figura de interferência, com o uso de um aparato distante da rede é apresentado as fontes lineares (BAZANINI E LAWALL, 1995). Por meio desse sistema de fendas, podemos ter o fenômeno da difração.

#### **2.5 Espectro do átomo de Hélio**

Em termos de complexidade, o elemento Hélio é um dos mais complexos, a primeira evidencia do Hélio foi em 1868, visualizado como uma linha brilhante amarela com comprimento de onda de 587,49 nanômetros no espectro da cromosfera do sol durante um eclipse solar, através dessa linha de emissão os cientistas Pierre Janssen e Normam Lockyer, utilizando um espectroscópio e tiveram a primeira evidência do elemento Hélio. Na tabela periódica o Hélio está representado por He, e possui 2 elétrons com distribuição

eletrônica  $1s^2$ . Podemos ver na Fig. (7) o espectro de emissão e absorção do elemento Hélio.

**Figura 7:** Espectro de Hélio nas linhas de emissão e absorção

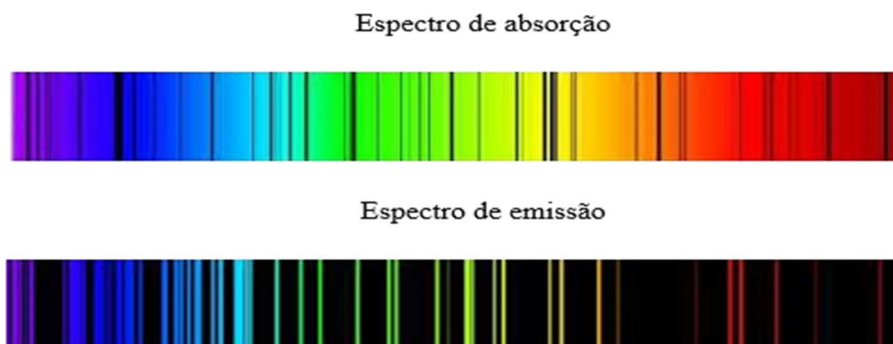


**Fonte:** Róldos (2019). com adaptações

## 2.6 Espectro do átomo de Mercúrio

O Mercúrio (Hg) é um elemento químico com número atômico igual a 80, e unidade de massa igual a 200,59. O Hg se encontra no 6º período e é da família do metal pesado tóxico do grupo 12 da tabela periódica. Uma das principais diferenças do elemento Mercúrio é que ele é o um metal líquido em temperatura ambiente, o nível de energia do Mercúrio pode ser condicionado de um nível para o outro nível com uma energia mais elevada, ao submetê-lo em uma alta temperatura é possível absorver a radiação. Na Fig. (8) estão representados tanto o espectro de emissão quanto de absorção do Mercúrio.

**Figura 8:** Espectro do Mercúrio nas linhas de emissão e absorção



**Fonte:** Química (2015). Com adaptações



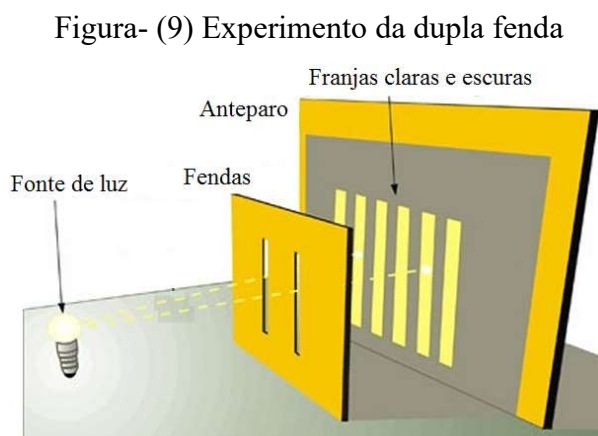
O espectro do Hg também é um dos mais complexos, pois apresenta muitas linhas e que são próximas entre si, na sessão 4 estão os registros fotográficos dos espectros do Hélio e Mercúrio, em que também podemos notar essa proximidade.

## 2.7 Método de Young

O método de Thomas Young é conhecido como o experimento da dupla fenda, esse experimento foi muito importante para a comprovação do comportamento ondulatório da luz, comprovando que a luz sofre difração e interferências, conforme MOURA; BOSS (2015).

Seu conceito de luz como ondas e, principalmente, seu princípio de interferência ilustrado pelo famoso experimento da fenda dupla teriam despertado o interesse pela teoria ondulatória adormecida no século anterior, completamente dominado pela concepção corpuscular da luz de Isaac Newton (1642 – 1727). (MOURA; BOSS, 2015).

Young elaborou um experimento na qual consistia em fazer com que a luz atravessasse duas fendas estreitas, o que resultou em franjas claras e franjas escuras, que conhecemos como padrão de interferência, no centro do padrão de interferência a gente tem um ponto mais brilhante chamado máximo central, essas franjas vão se espalhando a esquerda e a direita do máximo central. Ao fazer a luz passar por uma única fenda sofrendo apenas uma difração com uma única fase, resultando em uma onda, em seguida a luz passa por duas fendas sofrendo duas difrações, tendo duas ondas elas acabam interferindo, na Fig. (9) podemos observar como foi realizado o experimento.



Fonte: Oguri, 2016.

As linhas representam as frentes de onda, as faixas são chamadas de picos e vales, quando duas frentes de onda de mesma cor se encontram, significa que está ocorrendo interferência construtiva e quando duas cores diferentes se encontram ocorre a interferência destrutiva, o que é explicado na alternância que aparece no anteparo onde a luz é projetada. O máximo central é chamado de  $n = 0$  a primeira franja clara é chamada de  $n = 1$ , a segunda franja é  $n = 2$  e assim sucessivamente, a distância entre as fendas ele deu o nome de  $d$ , e a distância entre as fendas até o anteparo deu o nome de  $L$ , a formação do máximo consiste pelo raio de luz que sai de uma fenda até o máximo central, o raio de luz da segunda fenda também em direção ao máximo central. A distância em que cada raio de luz chegava até a primeira franja,  $n = 1$ , eram distâncias diferentes, a relação entre essas distâncias é calculada através da seguinte equação:

$$X = \frac{n \cdot \lambda \cdot L}{d}$$

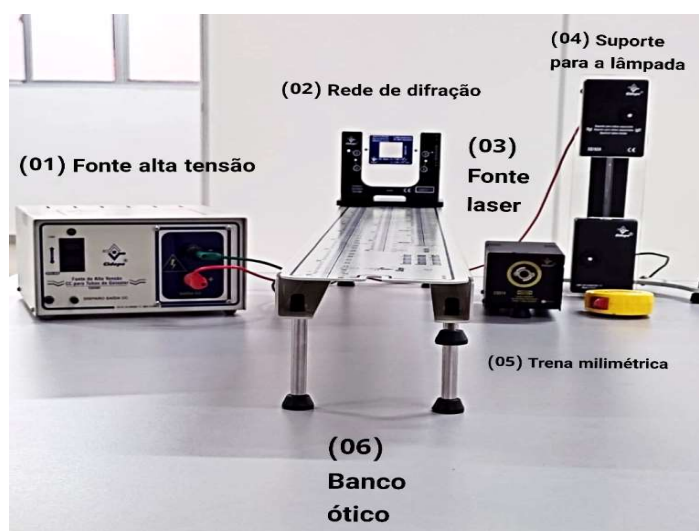
(4)

Onde  $X$  é a posição que a franja clara ocupa no anteparo, em relação ao máximo central,  $n$  é o número da franja,  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $L$  é a distância das fendas até a tela de projeção, e  $d$  é a distância entre as fendas.

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste trabalho, utilizamos o método experimental de Young para medir o comprimento de onda dos espectros de emissão dos elementos Hélio e Mercúrio. Para a realização do experimento foram utilizados os seguintes materiais: fonte de alta tensão; rede de difração de 1000 fendas/mm; fonte laser; suporte para lâmpada espectral; trena milimétrica; e um banco óptico com anteparo, como está apresentado na Fig. (10). Com esses materiais montamos o nosso *setup* experimental, apresentado na Fig. (11). Optamos por realizar o experimento no turno da noite para evitar a interferência de fontes externas de luz. Lembrando que cada etapa que iremos expor a seguir foi realizada para ambos os elementos, ou seja, Hélio e Mercúrio.

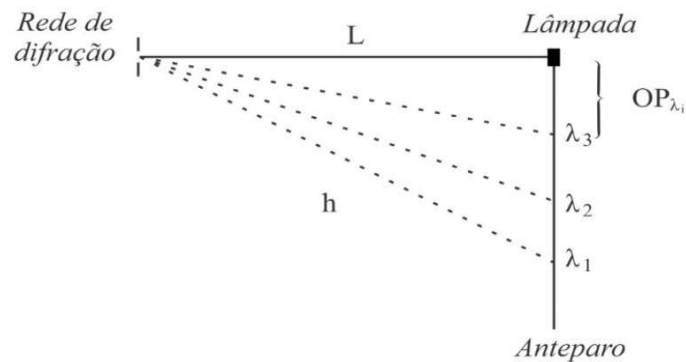
**Figura 9:** Aparato experimental: (1) fonte de alta tensão, (2) rede de difração, (3) fonte laser, (4) suporte para lâmpada, (5) trena milimétrica, (6) banco óptico.



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Na Fig. (11) está representado a montagem do nosso setup experimental, com os equipamentos mostrados anteriormente.

**Figura 10:** Setup experimental: Representação da montagem experimental



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Note que nosso *setup* experimental, Fig. (11), se assemelha a um triângulo retângulo, logo, podemos recorrer ao Teorema de Pitágoras para calcular a distância entre a rede de difração e a linha. Para isso, utilizamos a trena milimétrica e medimos a distância tanto entre a rede de difração e a lâmpada/tubo espectral quanto entre a lâmpada/tubo espectral e as linhas. A equação para esse cálculo é dada por:

$$hip^2 = OP^2 + L^2 \quad (6)$$

Organizando:

$$\text{sen} = \frac{OP}{\sqrt{OP^2 + L^2}} \quad (7)$$

Onde *hip* é distância entre a rede de difração e a linha, *OP* é a distância entre a lâmpada e a linha, e *L* é a distância entre a rede de difração e a lâmpada. Conhecendo o valor de *hip* de cada linha, podemos calcular o  $\text{sen } \alpha$  e substituir na equação:

$$\lambda = d \text{ sen } \alpha.$$

Dessa forma, conseguimos obter o comprimento de onda  $\lambda$  de cada linha. O termo  $d$  é uma constante conhecida como constante da rede de difração, cujo valor é  $d = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ nm}$ .

Utilizando a câmera fotográfica do celular, registramos os espectros dos elementos Hélio e Mercúrio, com essa fotografia conseguimos obter o gráfico de intensidade em relação ao comprimento de onda, utilizando a plataforma livre sciDAVis.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir iremos discutir os resultados obtidos ao realizarmos o procedimento experimental descrito no Capítulo 3, tanto para o Hélio quanto para o Mercúrio.

### 4.1 Análise do espectro do Hélio (He):

Realizando o procedimento experimental para o caso do He, fotografamos o espectro pela rede de difração, as linhas emitidas no espectro foram as cores violeta, violeta-azul, azul, ciano, amarelo e vermelho, como está apresentado na Fig. (12)

**Figura 12:** Registro do espectro de emissão do He



**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Após a observação dessas linhas medimos as distâncias  $L$  e  $OP$  para a primeira linha. Em seguida, realizamos a mesma medida  $OP$  para as demais linhas. Com esses dados construímos a Tabela 1.

**Tabela 1:** Medidas com o He e as cores correspondentes.

$L$ (m)	$OP$ (m)	Cor
5,85	2,88	Violeta
5,85	3,09	Violeta-azul
5,85	3,27	Azul
5,85	3,35	Ciano
5,85	4,19	Amarelo
5,85	5,02	Vermelho

**Fonte:** Autoria própria, 2022.

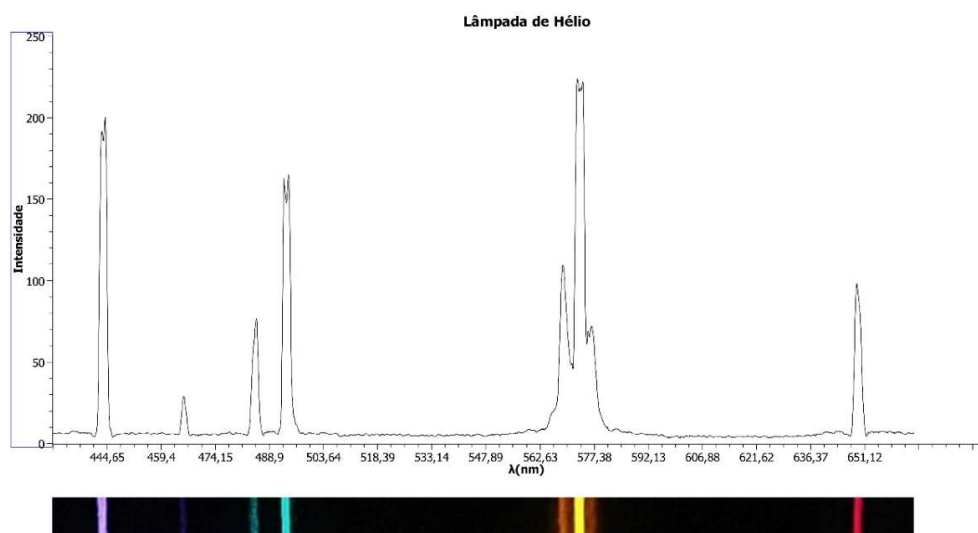
Usando a eq. (7) e os dados da Tabela 1, calculamos o comprimento de onda de cada linha, comparando os resultados com os valores teóricos.

**Tabela 2:** He: Valores dos comprimentos de ondas apresentados na literatura

hip(m)	$\lambda(\text{nm})$	Valores teóricos
6,520	$441,71 \times 10^9$	380-420 nm
6,615	$467,12 \times 10^9$	420-440 nm
6,701	$487,98 \times 10^9$	440-485 nm
6,741	$496,95 \times 10^{-9}$	485-500 nm
7,195	$582,34 \times 10^{-9}$	565-590 nm
7,708	$651,27 \times 10^{-9}$	625-740 nm

**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Nós utilizamos o software sciDAVis para o obter o gráfico da intensidade em relação ao comprimento de onda. Para isso, importamos a fotografia dos espectros no formato matriz de intensidade por pixel, feito isso, a plataforma mostrou a opção matriz, ao clicar nessa opção selecionamos a conversão de matriz para tabela, com todas as colunas da tabela marcadas, na aba “análise” clicamos em estatística das colunas. O software gerou uma nova tabela, com os dados dessa tabela construímos o gráfico da intensidade em relação ao comprimento de onda, Fig. (13)

**Figura 13:** Gráfico de intensidade em relação ao comprimento de onda para o He.

**Fonte:** Autoria Própria, 2022.

Podemos notar, na Fig. (13), os oito picos correspondentes às linhas do He, no entanto, só conseguimos obtermos os comprimentos de onda de seis linhas espectrais. Os outros dois picos que estão entre o comprimento de onda de 547-578 nm foram as linhas vizinhas da linha amarela, as quais não conseguimos realizar as medições por estarem muito próximas.

#### 4.2 Análise do espectro do Mercúrio (Hg):

Realizando o procedimento experimental mais uma vez, mas agora para o caso do Hg. Novamente fotografamos o espectro pela rede de difração, as linhas emitidas no espectro foram nas cores, violeta, verde, amarelo e laranja, Fig. (14).

**Figura 14:** Registro do espectro de emissão do Hg



**Fonte:** Autoria Própria, 2022.

Realizando as mesmas medidas de distância, obtemos os dados apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Medida das distâncias e a cor correspondente.

<b>L (m)</b>	<b>OP(m)</b>	<b>Cor</b>
5,85	3,10	Violeta
5,85	4,13	Verde
5,85	4,53	Amarelo
5,85	4,58	Laranja

**Fonte:** Autoria própria, 2022.

O cálculo realizado para obter os comprimentos de onda no caso do He, também foi utilizado para o caso do Hg. Então, usando os dados da Tabela 3 calculamos os comprimentos de onda para o Hg e os valores encontrados estão na Tabela 4.

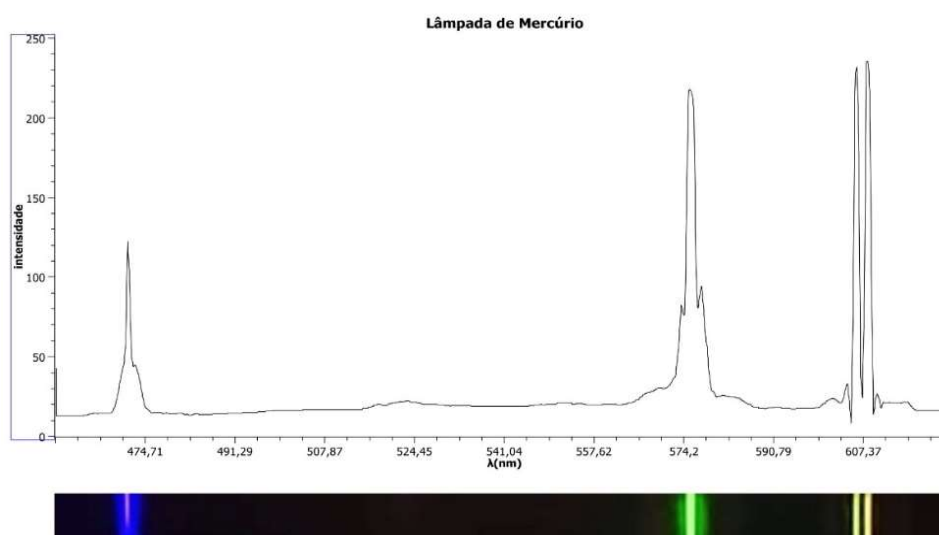


**Tabela 4:** Valores dos comprimentos de onda apresentados na literatura

$h(m)$	$\lambda(nm)$	Valores teóricos
6,618	$468,41 \times 10^{-9}$	380-440
7,160	$576,81 \times 10^{-9}$	500-565
7,397	$612,41 \times 10^{-9}$	556-590
7,427	$616,66 \times 10^{-9}$	590-625

**Fonte:** Autoria própria, 2022.

Também construímos o gráfico de intensidade em relação ao comprimento de onda para o Hg, usando o software sciDAVis. O procedimento é o mesmo que realizamos para o He. Assim, a Fig. (15) nos mostra essa relação da intensidade com o comprimento de onda.

**Figura 15:** Gráfico de intensidade em relação ao comprimento de onda para o caso do Hg

**Fonte:** Autoria própria, 2022.

De igual modo, podemos ver o comportamento gráfico que nos foi dado pelo Software para o espectro do mercúrio Fig. 14 o gráfico correspondeu com os comprimentos de onda calculados. Podemos identificar os 4 picos que correspondem aos comprimentos de onda que calculamos.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do estudo realizado ao longo desse trabalho, vimos que os resultados obtidos chegaram muito próximo dos valores teóricos, dessa forma, podemos concluir que o método e os equipamentos propostos para medir o comprimento de onda das linhas espectrais dos elementos químicos, é uma forma válida de chegar aos resultados esperados.

Mesmo não tendo o auxílio de equipamentos mais sofisticados para medir os comprimentos de onda, conseguimos, utilizando o método de Young e as adaptações que realizamos, bons resultados. Pois, os valores obtidos se aproximam significativamente dos valores apresentado pela literatura.

Um recurso computacional utilizado, e muito importante deste trabalho, foi a plataforma livre sciDAVis. Esse recurso facilitou a obtenção do gráfico que relaciona a intensidade com o comprimento de onda. Isso nos mostra como os recursos computacionais, hoje em dia, são essenciais para o desenvolvimento de pesquisa básica.

Portanto, conseguimos alcançar nossos objetivos traçados no início deste trabalho. Porém, o trabalho não encerra por aqui. Ainda poderão ser feitas outras medidas ou análises. Por exemplo, com o uso do espectrômetro.

## REFERÊNCIAS

- EISBERG., R; RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Editora: Campus,1979.
- OGURI, Francisco C. **Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos**. Editora: Campus. Rio de Janeiro. 2006.
- TIPLER, Paul A. **Física Moderna**. Editora: Guanabara dois. Rio de janeiro. 1981.
- ALCANTARA, Petrus. **Espectroscopia Molecular**. p. 01-05, Mar, 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/267222966\\_espectroscopia\\_molecular](https://www.researchgate.net/publication/267222966_espectroscopia_molecular). Acesso em 24. Out. 2022
- CLARO, Paulo Ribeiro. **Espectroscopia vibracional**. P.01-05, 2018. Disponível em: [https://app.amanote.com/v4.0.24/research/note-taking\(modal:authentication-modal/modal/login\)](https://app.amanote.com/v4.0.24/research/note-taking(modal:authentication-modal/modal/login)). Acesso em 24. Out. 2022.
- FILGUEIRAS, Carlos. **A espectroscopia e a química: Da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica**. Química Nova na escola, v. 3, p. 22-25, 1996.
- OLIVEIRA, Newton Barros. **Raias Espectrais e Experimento de Franck-Hertz**. p. 02-26, Jan, 2016. Disponível em: [exp\\_espectroscopia\\_otica\\_franck\\_hertz](#) .Acesso em 13. nov. 2022.
- DIAS, ZÉ. Luz e Espectro. *In: Ventos do Universo: Luz e Espectro*. [S. l.], 2012. Disponível em: [Ventos do Universo: Luz e Espectro](#). Acesso em: 23 out. 2022.
- FILHO.; K. SARAIVA. M. **Espectroscopia**. Mai. 2007. Disponível em: [Espectroscopia \(ufrgs.br\)](#). Acesso em: 23. Out.G 2022.
- BAZANINI, Gil; LAWALL, Ivani. Raias espectrais. **Raias espectrais**, [S. l.], v. 12, p. 229-235, 19 jun. 2008.
- MOURA, Breno; BOSS, Sergio. Thomas Young e o resgate da teoria ondulatória da luz: Uma tradução comentada da sua teoria sobre luz e cores. **Revista brasileira de ensino de Física**, [S. l.], ano 2015, v. 37, n. 4, p. 01 - 24, 12 dez. 2015