

---

# *Incandescência e Luminescência*

Sebastião Pratavieira e Leandro de Oliveira

Instituto de Física de São Carlos – Universidade de São Paulo

## **Parte 1: Incandescência**

**Objetivo:** Analisar as características das fontes de emissão incandescentes (emissão contínua – luz branca) e sua relação com a Teoria da Radiação de Corpo Negro, conforme discutido no capítulo 3 do livro "Física Moderna" do Tipler, especialmente na seção 3.2.

Conecte o espectrômetro portátil HR4000 da Ocean Optics ao computador utilizando o cabo USB e conecte uma fibra óptica à sua entrada SMA. Note que cada fibra óptica possui características descritas em torno dela; posteriormente, o diâmetro do núcleo da fibra será relevante.

*Antes de prosseguir, lembre-se das seguintes recomendações:*

- Não dobre ou aplique pressão sobre o cabo de fibra óptica, e evite a saturação prolongada do sinal registrado pelo espectrômetro.
- A qualidade dos espectros adquiridos é influenciada pelo alinhamento dos componentes ópticos e pelas condições do espectrômetro, como o tempo de integração e o número de varreduras. É essencial ajustar esses parâmetros para obter resultados precisos e adequados às medições.
- É essencial permitir que as fontes de radiação se estabilizem antes de obter os espectros.
- Solicite ao docente informações detalhadas sobre o uso do software SpectraSuite, incluindo modos e condições de aquisição, formatos de gravação, entre outros aspectos relevantes.
- Os dados deverão ser salvos no formato \*.txt ou \*.dat pelo software utilizado. Os gráficos poderão ser elaborados utilizando diversas ferramentas disponíveis, tais como Origin, Python, Matlab, entre outras.
- Atenção à temperatura das lâmpadas e ampola, além disso, evite olhar diretamente para as lâmpadas. Caso necessário, utilize luvas térmicas e óculos de proteção.
- Cuidado ao manusear as lâmpadas espectrais. Nunca toque no tubo de vidro.

- ✓ Conecte a lâmpada de filamento de tungstênio (W) a um transformador variável (variac), atentando-se à máxima tensão permitida para essa lâmpada. Coloque a outra extremidade da fibra em um suporte, de modo a coletar a emissão proveniente da lâmpada. Veja figura 1.
- ✓ No software SpectraSuite, verifique os parâmetros como tempo de integração, boxcar e dark correction.
- ✓ Obtenha e registre o espectro da lâmpada em função da tensão aplicada. Pode ser necessário ajustar a integração e a distância entre a fibra óptica e a lâmpada para garantir que a intensidade do sinal permaneça consistente nas diversas tensões.
- ✓ Analise se o formato do espectro está em conformidade com a Lei de Planck e considere influências na medição, como a sensibilidade do detector.
- ✓ Verifique se ao mudar a tensão da lâmpada é possível concluir algo e correlacionar com a Lei do Deslocamento de Wien.
- ✓ Estime a temperatura do filamento nas condições anteriores. A medição da temperatura do filamento pode ser realizada utilizando um pirômetro óptico. Consulte o professor para obter orientação sobre como efetuar essa medição.
- ✓ Obtenha o espectro de emissão para outras lâmpadas de filamento, halógenas, fluorescente compacta, Led e etc. Explique as diferenças entre elas.
- ✓ Explore a função no software de “relative irradiance”.
- ✓ Como curiosidade, é possível obter o espectro da luz branca solar. Para realizar essa medição, por favor, consulte o professor responsável.

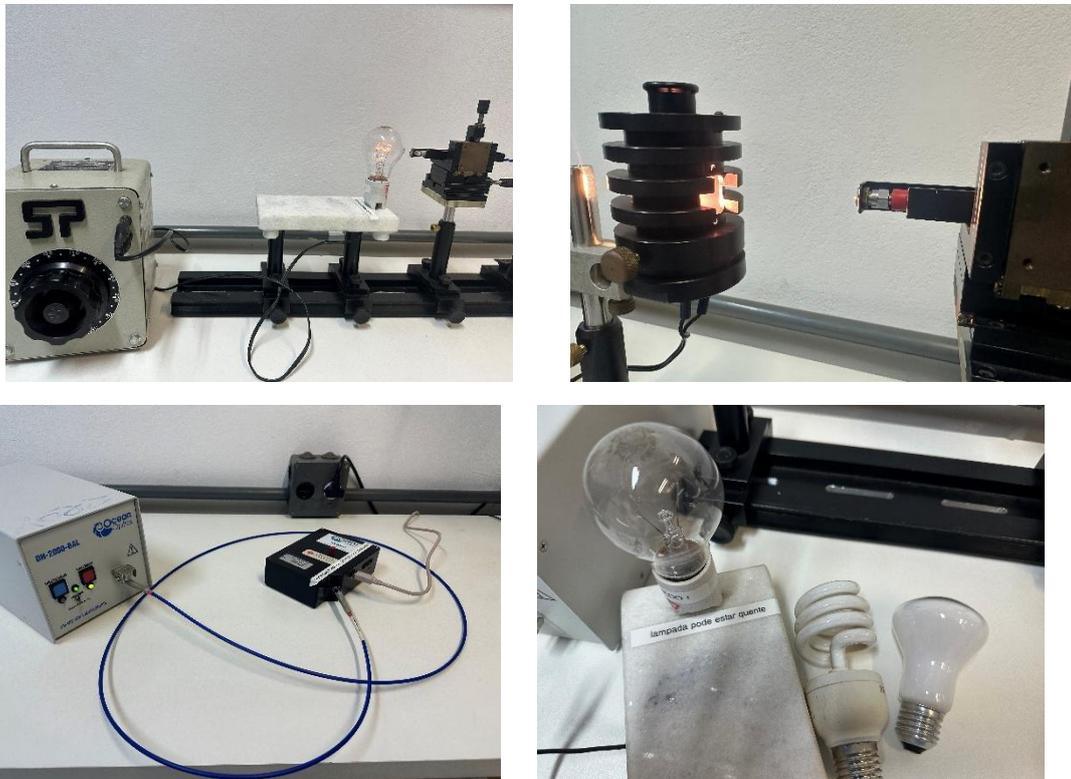


Figura 1 - Ilustração da montagem para medida espectral de algumas lâmpadas.

---

## Parte 2: Luminescência

**Objetivo:** Compreender a emissão de fontes luminescentes e sua relação com o Modelo de Bohr e com a Teoria Atômica, bem como determinar a constante de Rydberg. Recomenda-se revisar o Capítulo 4 do livro "Física Moderna" do Tipler, especialmente as seções 4.1 e 4.3.

- ✓ Insira a lâmpada de [hidrogênio](#) e ajuste os parâmetros para obter seu espectro. Verifique o perfil de emissão, observando a emissão discreta com diferentes intensidades. Veja figura 2. Ajuste parâmetros e obtenha com precisão os comprimentos de onda. Faça um gráfico e calcule a constante de Rydberg e sua incerteza.
- ✓ Considere a possibilidade de explicar a intensidade de cada linha, bem como determinar se a lâmpada é composta por hidrogênio molecular ou atômico.
- ✓ Explique cada uma das séries Lyman, Balmer, Paschen, Brackett e Pfund.
- ✓ Repita o procedimento para as lâmpadas de deutério e hélio e adapte o modelo de Bohr para prever suas respectivas emissões.
- ✓ É possível também obter o espectro de outras lâmpadas. Como, por exemplo da lâmpada de mercúrio (Hg), que possui importância histórica devido aos seus numerosos desenvolvimentos e aplicações. A partir dos espectros de emissão das lâmpadas de He e de Ne, explique o princípio de funcionamento de um laser de HeNe, com emissão em 632.8nm.
- ✓ Além de comparar os valores obtidos com diversas bases de dados, pense na possibilidade de como prever teoricamente essas emissões para átomos de muitos elétrons.

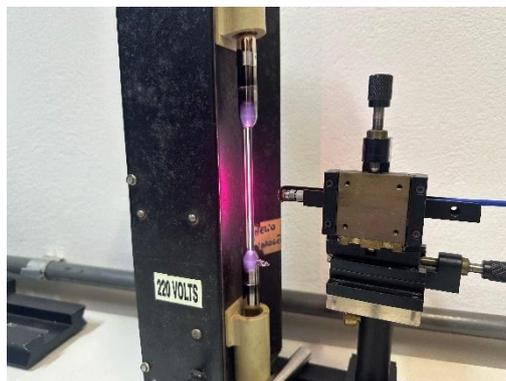


Figura 2 - Ilustração da montagem para medida de lâmpadas espectrais.

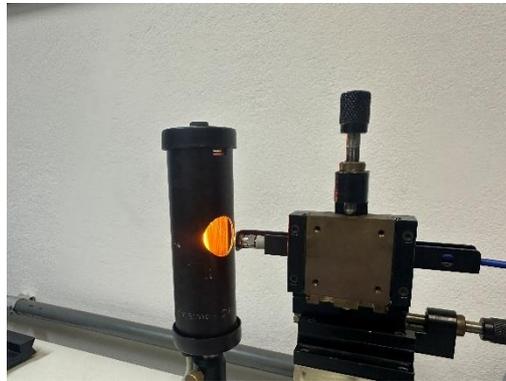
---

### Parte 3: Espectrômetro portátil

Vamos agora analisar algumas características do equipamento, além de outros detalhes sobre a emissão atômica. O sódio possui linhas discretas de emissão com uma característica interessante. Relembre o Cap 7 do Tipler, em especial 7.5.

*Emissão do dubleto de sódio – acoplamento spin-orbita.*

- ✓ Ligue a [lâmpada de sódio](#) e posicione a fibra conforme exemplificado na figura 3. Observe e salve o espectro após alguns minutos com a lâmpada ligada. Com base nesses experimentos discuta e explique o motivo dessa emissão e se é possível obter esse sinal com o aparato que dispomos. Verifique como determinar a resolução espectral do equipamento.



*Figura 3 - Ilustração da medida espectral da lâmpada de vapor de sódio.*

- ✓ Além da emissão do sódio, faremos seu espectro de absorção, para isso vamos utilizar a [ampola](#) (Sodium (Na) Fluorescent Tube 09084.00) que será aquecida. Faremos passar a luz contínua de uma lâmpada incandescente pela ampola, para isso alinhe conforme a figura abaixo e obtenha um primeiro espectro de luz transmitida com a ampola a temperatura ambiente.



Figura 4 – Ilustração da montagem para medida da absorção óptica do vapor de sódio.

- ✓ Alinhe o conjunto de forma a maximizar a luz transmitida na ampola e por consequência a luz coletada, como mostrado na figura 4.
- ✓ Monitore a temperatura e obtenha espectros de transmissão/absorção em função da temperatura, observe se algo ocorre na região de emissão do sódio. Explique fisicamente o que estamos observando.

**Cuidado com a temperatura! O vapor de Na é conseguido apenas após aquecer a ampola e seu envoltório como um todo. Muito cuidado com o manuseio do conjunto.**

*Pense na importância de cada parte do sistema, por exemplo:*

- ✓ Importância da fibra e fenda (slit) de entrada do espectrômetro
- ✓ Grade de difração (número de linhas por distância e vantagem/desvantagem de grade e prisma.) Relembre Física 3 e 4.
- ✓ Arranjo de detectores – como converter fóton em elétron. (sensibilidade espectral do silício.)

Discuta acerca dos resultados obtidos tendo em conta a resolução espectral do sistema utilizado: fibra-óptica (UV-VIS, 600 $\mu$ m), fenda de entrada do espectrômetro (200  $\mu$ m), grade de difração (#3, spectral range 650 nm), detector CCD Toshiba (200-1100 nm range, 3648 pixels). Consulte <http://oceanoptics.com/knowledge-support/formula-calculating-optical-resolution/> e <http://oceanoptics.com/faq/choice-slit-size-affect-resolution/> para maiores detalhes.

- ✓ Como funciona uma fibra-óptica? Dê exemplos de guias de ondas e discuta acerca dos principais tipos de fibras-ópticas.
- ✓ O que é e como funciona uma rede (ou grade de difração)? Destaque as suas principais características e propriedades.
- ✓ O que é e como funciona um diode-array?
- ✓ O que é e como funciona um detector CCD?

---

## Parte 4: Cor, Absorção e Lei de Beer-Lambert

**Objetivo:** entender o espectro de absorção de amostras e sua relação com a cor e a Lei de Beer-Lambert (relação entre absorvância, concentração e caminho óptico). Veja a teoria em ATKINS, P. W. PAULA, J. de. Físico-Química – Espectroscopia molecular.

- ✓ Faça a montagem utilizando duas fibras ópticas e o suporte de amostras da OceanOptics, conecta um lado da fibra à lâmpada UV-VIS-NIR (DH-2000-BAL) e o outro ao espectrômetro. Inicialmente, sem nenhuma amostra, verifique o perfil de emissão somente da lâmpada de deutério e halógena. Compare e discuta com os resultados anteriores.
- ✓ Insira no suporte de amostras os materiais de PET, conforme figura 5, e faça uma relação entre a cor observada e o espectro de transmissão. Como se relaciona a transmissão, reflexão e absorção. Utilize as funções do software de transmissão e absorção e registre todos os gráficos.
- ✓ Qual a diferença entre absorção e absorvância? Observe que essa medida de cor necessita que a luz atravesse a amostra, pense se é possível fazer essa medida em amostras onde a luz é apenas refletida pela amostra.
- ✓ Escolha um conjunto da mesma cor e obtenha o espectro em função do número de amostras PET. Em seguida, escolha um comprimento de onda e faça um gráfico desse valor em função da espessura total de material. Com isso, discuta a Lei de Beer-Lambert e se ela foi obedecida. Qual o coeficiente de absorção do material? Lembre-se de outros fenômenos como a refração e espalhamento.
- ✓ No caso dos materiais coloridos, explique a sua cor aparente.

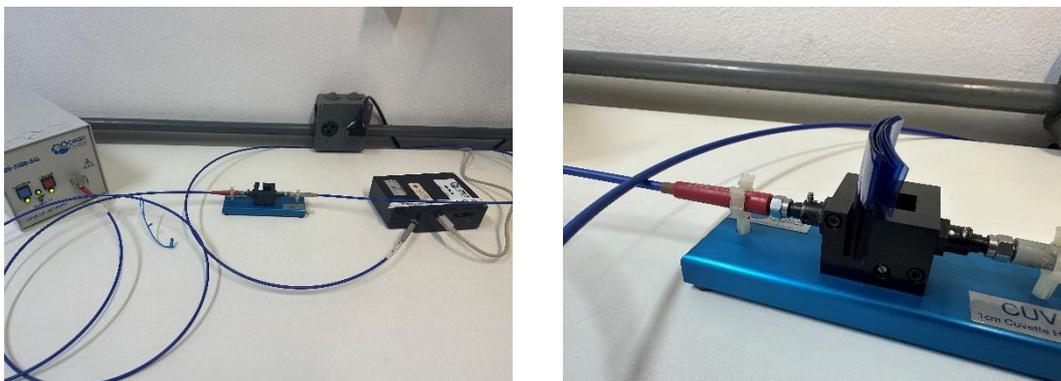


Figura 5 – Ilustração do aparato para medida de transmissão.

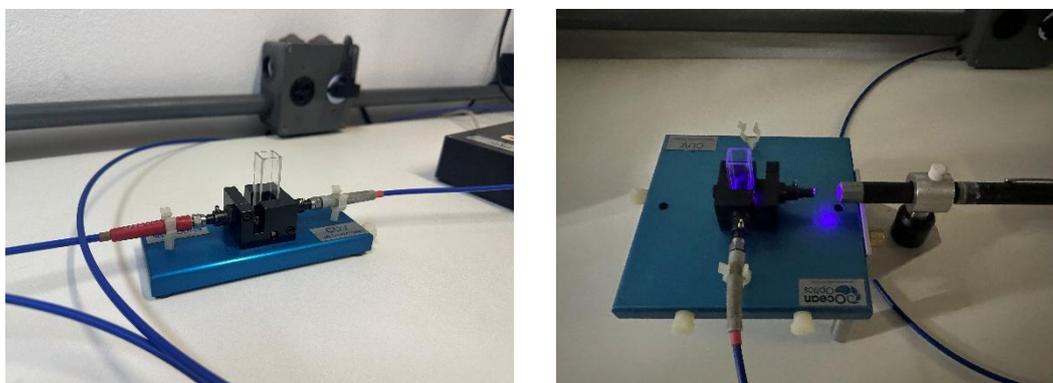
---

## Parte 5: Absorção e emissão de moléculas

**Objetivo:** entender o espectro de absorção e emissão de moléculas devido a transições eletrônicas. Veja a teoria em ATKINS, P. W. PAULA, J. de. Físico-Química – Espectroscopia molecular.

Utilize o mesmo aparato anterior e empregue as soluções preparadas de clorofila ou outras moléculas, como corantes utilizados em canetas do tipo marca-texto.

- Sempre limpe muito bem as cubetas antes e depois do uso!! E cuidado ao manuseá-las.
- Pense no motivo de se usar cubetas feitas de plásticos, vidro ou quartzo.
- ✓ Examine o comportamento da absorção (figura 6) da solução inicial preparada, tanto antes quanto após a centrifugação. Solicite assistência para realizar o processo de centrifugação.
- ✓ Utilizando uma pipeta (que o professor irá explicar seu uso) faça diluições da solução inicial. Por exemplo, comece com uma solução inicial e faça diluições de 50%.
- ✓ Para cada concentração obtenha o espectro de absorção, em seguida escolha um comprimento de onda e faça um novo gráfico com esse valor de absorção em função da respectiva concentração (ou da diluição feita). Observe que no caso anterior, dos materiais de PET, a variação foi da espessura (caminho óptico), agora a espessura é constante e a variação é da concentração.



*Figura 6 - Ilustração do aparato para medida de absorção e emissão molecular.*

- ✓ Escolha uma concentração da solução e troque para o suporte de cubetas em 90° (pense no motivo de trocarmos de suporte), em uma das conexões do suporte vamos incidir diferentes laser de excitação (violeta, verde e vermelho) e coletar o espectro de emissão para cada uma dessas excitações veja figura 6.
- ✓ Explique a diferença entre cromóforo e fluoróforo, discutindo o diagrama de Jablonski e a regra de Kasha.

---

## Bibliografia:

- Atkins, P. W., & de Paula, J. (2018). Físico-química (10ª ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Tipler, P. A., & Llewellyn, R. A. (2016). Física moderna (6ª ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Ocean Optics. (2016). *HR4000 and HR4000CG-UV-NIR Series Spectrometers: Installation and Operation Manual*. Dunedin: Ocean Optics. Disponível em: <https://www.oceanoptics.com/wp-content/uploads/2024/12/HR4000.pdf>

Lâmpadas de alta pressão deutério e sódio.