



FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO:

O UNIVERSO ALÉM DO VISÍVEL

RAUL PINHEIRO DA SILVA

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufisoc** Sorocaba



PRODUTO EDUCACIONAL

FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: O UNIVERSO ALÉM DO VISÍVEL

RAUL PINHEIRO DA SILVA

Sorocaba - SP
Abril de 2025

FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: O UNIVERSO ALÉM DO VISÍVEL

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 42 – UFSCAR / CAMPUS SOROCABA-SP, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Fernanda Keila Marinho da Silva
Co-Orientador: Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz

Sorocaba - SP
Abril de 2025

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001. Assim, agradeço à CAPES pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o meu período de formação.

Agradeço à minha família e amigos, que estiveram ao meu lado com amor, apoio e compreensão em todos os momentos, tornando essa jornada possível. A vocês, que sempre acreditaram e me incentivaram, sou eternamente grato.

Aos meus orientadores, Profa. Dra. Fernanda Keila Marinho da Silva e Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz, expresso minha gratidão pelo suporte acadêmico e pelas orientações ao longo de todo o processo, que contribuíram para a concretização deste trabalho.

Aos colegas de turma, agradeço pela parceria e pelas trocas que tornaram o percurso mais leve e colaborativo.

*“Quanta do latim
Plural de quantum
Quando quase não há
Quantidade que se medir
Qualidade que se expressar”*

(“Quanta”, Gilberto Gil)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de produção dos estudantes.....	163
Figura 2 - Os campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética plana...	167
Figura 3 - Esquema do espectro eletromagnético.....	167
Figura 4 - Demonstração utilizando laser verde e borrifador de água.....	170
Figura 5 - Refletor RGB e controle remoto utilizados na atividade experimental.....	171
Figura 6 - Fonte de luz UV utilizada na atividade experimental.....	172
Figura 7 - Tintas Neon para maquiagem (esq.) e fotos da aplicação (dir.).....	173
Figura 8 - Esquema original proposto para o experimento de Newton com os prismas.....	177
Figura 9 - Na figura, as duas coroas são o mesmo objeto visto a 90 metros de distância pelo telescópio refletor de Newton (fig.2) e por um telescópio refrator (fig.3) como 61 cm de comprimento (que aumentava 14 vezes).....	177
Figura 10: (a) A bola vermelha vista sob luz branca. (b) A bola vermelha vista sob luz vermelha. (c) A bola vermelha vista sob luz verde.....	178
Figura 11 - Esquemático do olho humano.....	180
Figura 12: A mistura de luzes coloridas. Quando três projetores emitem luzes vermelha, verde e azul sobre uma tela branca, as áreas de superposição produzem diferentes cores. O branco é gerado onde as três luzes se sobrepõem.....	181
Figura 13: Experimento realizado utilizando 3 lâmpadas RGB.....	182
Figura 14- Espectro coletado das principais cores de um monitor RGB e do Branco... 182	
Figura 15: Esquema do processo de excitação e relaxação do elétron.....	183
Figura 16- Esquemático representando o processo da Fluorescência.....	184
Figura 17- Visualização de tumor marcado com uma variante vermelha da GFP: uma aplicação biofotônica de proteínas bioluminescentes como GFP e luciferases.....	185
Figura 18 - Imagens apresentadas aos estudantes: ferro incandescente e vagalume.. 187	
Figura 19 - Simulador sobre espectro de Corpo Negro utilizando durante a aula... 188	
Figura 20 - Representação esquemática de um corpo negro.....	191
Figura 21 - Gráfico histórico da Intensidade espectral como função do comprimento de onda.....	192
Figura 22 - Gráfico dos pontos experimentais (pontos vermelhos) e da previsão teórica da Física Clássica - Rayleigh e Jeans (linha sólida azul).....	193
Figura 23 - Resultado teórico de Planck (curva contínua) e curva experimental de radiação do corpo negro (pontos).....	195
Figura 24 - Modelo de camadas do átomo de Bohr representando os processos de absorção (esq.) e emissão (dir.).....	196
Figura 25 - (esq.) Elétron absorvendo um quantum de Energia h.f e mudando para um estado mais externo. (dir.) Elétron emite um quantum de energia h.f ao retornar para seu estado.....	197
Figura 26 - Exemplo de pseudociência quântica.....	199

Figura 27 - Três dos possíveis saltos quânticos de um elétron no átomo de hidrogênio, evidenciando a relação com os espectros.....	205
Figura 28 - Molde para construção do espectrógrafo.....	206
Figura 29 - (esq.) Espectrógrafo construído conforme o modelo fornecido. (dir.) Espectro da luz branca emitida por uma lâmpada fluorescente.....	206
Figura 30 - Espectros de diferentes fontes.....	209
Figura 31 - Um espectroscópio simples. As imagens da fenda iluminada são projetadas em uma tela, criando um padrão de linhas. O espectro resultante é específico para a luz que ilumina a fenda.....	209
Figura 32 - As três melhores medidas do espectro solar, realizadas às 16h do dia 31/10/2018. As linhas em vermelho são os ajustes utilizando o LogNormal no Origin..	210
Figura 33 - Um arranjo experimental para demonstrar o espectro de absorção de um gás.....	211
Figura 34 - Em preto: espectro do Sol (16h), em vermelho: espectro do CO ₂ , em azul: espectro de H ₂ O, com foque na região do visível.....	212
Figura 35 - Espectros em diferentes temperaturas.....	213
Figura 36 - (esq.) Foto tirada da lâmpada de Argônio e Mercúrio submetida a 5 kV (dir.) Foto tirada da lâmpada de Hidrogênio submetida a 5 kV.....	215
Figura 37 - Níveis de energia do Hélio e Neônio. As principais transições são indicadas por setas duplas. Note que o estado fundamental está em uma energia muito menor.....	216
Figura 38 - Simulador PHET para o efeito fotoelétrico.....	219
Figura 39 - Um esquema experimental usado para observar e medir o efeito fotoelétrico.....	221
Figura 40 - Figuras de difração para (a) feixe incidente de raios-X, enquanto em (b) temos o feixe composto por elétrons.....	226
Figura 41 - Esquema simplificado para ilustrar as órbitas eletrônicas de um átomo que possuem raios discretos, porque as suas circunferências são números múltiplos inteiros do comprimento de onda do elétron.....	228

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

SBF - Sociedade Brasileira de Física

PROFIS-So - Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física/campus Sorocaba

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

EM - Ensino Médio

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

FQ - Física Quântica

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	149
1 - INTRODUÇÃO.....	150
2 - ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	152
MÓDULO 1 - Introdução à Física Quântica e à Natureza da Luz.....	153
MÓDULO 2 - Conceitos Fundamentais e a Quantização da Energia.....	154
MÓDULO 3 - Espectroscopia, salto quântico e aplicações científicas.....	155
MÓDULO 4 - Dualidade onda-partícula, equação de De Broglie.....	156
3 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	157
AULA #1 - Apresentação da Sequência Didática e Levantamento de Conhecimentos Prévios.....	158
AULA #2 - Introdução à Natureza da Luz e Pontilhismo.....	161
AULA #3 - Luz, Cores e Fluorescência.....	170
AULA #4 - Fluorescência, Quantização da Energia e Salto Quântico.....	187
AULA #5 - O Uso do "Salto Quântico" na Pseudociência.....	199
AULA #6 - Construção e Uso de um Espectrógrafo Caseiro.....	204
AULA #7 - Discussão dos Espectros e Aplicações na Ciência.....	215
AULA #8 - Efeito Fotoelétrico.....	219
AULA #9 - Limites da Teoria Quântica e Dualidade Onda-Partícula.....	225
AULA #10 - Reflexão e Questionário Final.....	232
4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	240
REFERÊNCIAS.....	241
APÊNDICE.....	243

APRESENTAÇÃO

Este material é um Produto Educacional desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), campus Sorocaba. Ele consiste em uma sequência didática estruturada, voltada para professores do Ensino Médio que desejam explorar conceitos fundamentais da Física Quântica de forma acessível, contextualizada e crítica. O objetivo principal é oferecer suporte teórico e prático, auxiliando educadores na construção de aulas mais dinâmicas e eficazes, promovendo o pensamento científico e o combate a interpretações pseudocientíficas que frequentemente distorcem os princípios dessa área da Física.

A sequência didática está organizada em quatro módulos interligados, abrangendo desde uma introdução histórica e conceitual sobre a natureza da luz e os fenômenos luminosos até atividades experimentais, discussões críticas e uma contextualização sociocultural para desmistificar conceitos pseudocientíficos frequentemente associados à Física Quântica. Além disso, o material busca desenvolver competências essenciais para o letramento científico, capacitando os estudantes a diferenciar ciência e pseudociência, compreendendo as reais aplicações da Física Quântica no mundo contemporâneo.

Este Produto Educacional foi elaborado com base na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), priorizando a contextualização dos conteúdos e a adoção de estratégias pedagógicas ativas, como experimentação, investigação e debate. Espera-se que ele contribua para a modernização do ensino de Física no Ensino Médio, tornando os conteúdos da Física Quântica mais acessíveis e significativos para os estudantes, fortalecendo, assim, a educação científica como um pilar da formação cidadã e crítica.

Este material foi desenvolvido para ser utilizado de forma independente e adaptável a diferentes contextos escolares, permitindo que outros professores interessados na proposta possam aplicá-la sem necessidade de consulta à dissertação que originou seu desenvolvimento. Mais do que um recurso didático, este Produto Educacional é um convite para que professores explorem a Física Quântica em sala de aula de forma inovadora e significativa.

1 - INTRODUÇÃO

Este material foi desenvolvido para apoiar professores do Ensino Médio na abordagem de conceitos fundamentais da Física Quântica de maneira acessível, contextualizada e crítica. Ele apresenta uma sequência didática estruturada, que pode ser utilizada integralmente ou adaptada conforme a necessidade da turma e do professor. O objetivo é proporcionar estratégias pedagógicas ativas, promovendo a participação dos estudantes e incentivando o pensamento crítico, o letramento científico e a distinção entre ciência e pseudociência.

A sequência didática está organizada em quatro módulos interconectados, que abordam desde conceitos introdutórios até atividades experimentais e discussões socioculturais. Cada módulo apresenta objetivos específicos, sugestões de atividades práticas e orientações para o professor conduzir as discussões em sala de aula. Além disso, os estudantes são incentivados a explorar os fenômenos físicos, refletir sobre os resultados obtidos e estabelecer relações com aplicações tecnológicas e desafios contemporâneos.

O material também busca preencher uma lacuna existente no ensino de Física Moderna, uma vez que há pouca disponibilidade de materiais didáticos acessíveis para professores do Ensino Médio. A proposta se fundamenta nas diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), alinhando-se aos eixos de contextualização e experimentação, de modo a tornar o ensino da Física Quântica mais significativo e conectado ao mundo real.

Metodologicamente, este material se baseia na abordagem construtivista, fundamentada em Zabala (1998), que enfatiza o papel das sequências didáticas como estruturas organizadoras do ensino/aprendizagem. Para Zabala, o aprendizado ocorre de forma mais eficaz quando as atividades são estruturadas de maneira progressiva, permitindo que os estudantes relacionem novos conceitos com conhecimentos prévios. Essa organização didática favorece a compreensão da Física Quântica, um campo que tradicionalmente enfrenta dificuldades de ensino devido ao seu caráter abstrato.

Além disso, um aspecto central desta proposta é o combate à pseudociência e ao misticismo quântico, fenômenos que têm ganhado popularidade na sociedade e

frequentemente distorcem conceitos científicos. Termos como "salto quântico", "cura quântica" e "energia quântica" são amplamente utilizados em contextos pseudocientíficos, sem fundamentação teórica válida. Para enfrentar esse problema, a sequência didática incorpora momentos de análise crítica e investigação, incentivando os estudantes a diferenciarem ciência e pseudociência por meio da pesquisa, experimentação e discussão fundamentada.

Ao longo desta sequência didática, os professores encontrarão orientações detalhadas para a aplicação de cada atividade, bem como sugestões para avaliações formativas e discussões reflexivas. Espera-se que este material contribua para o ensino de Física Quântica no Ensino Médio, desmistificando pseudociências e fortalecendo a compreensão científica dos estudantes.

Nesse sentido, a sequência didática proposta contempla uma seleção de marcos fundamentais da história da Física Quântica, conceitualmente articulados. Iniciando pelas contribuições de Isaac Newton para a compreensão da natureza da luz, os estudantes são apresentados ao desenvolvimento da teoria ondulatória por James Clerk Maxwell, ao surgimento da quantização da energia com Planck (1900) e aos trabalhos de Einstein em 1905. Em seguida, são introduzidos o modelo atômico de Bohr (1913) e o conceito de dualidade onda-partícula proposto por Louis de Broglie (1924). Essa trajetória histórica favorece a construção progressiva do conhecimento, permitindo que os estudantes compreendam os limites da Física Clássica e o surgimento dos conceitos quânticos, alinhando-se ao objetivo central da proposta de promover um ensino mais crítico e contextualizado da Física Quântica no Ensino Médio. Um esquemático com os principais nomes e datas envolvidos nesse percurso pode ser visualizado na figura a seguir, servindo como apoio para a organização cronológica dos conteúdos trabalhados.

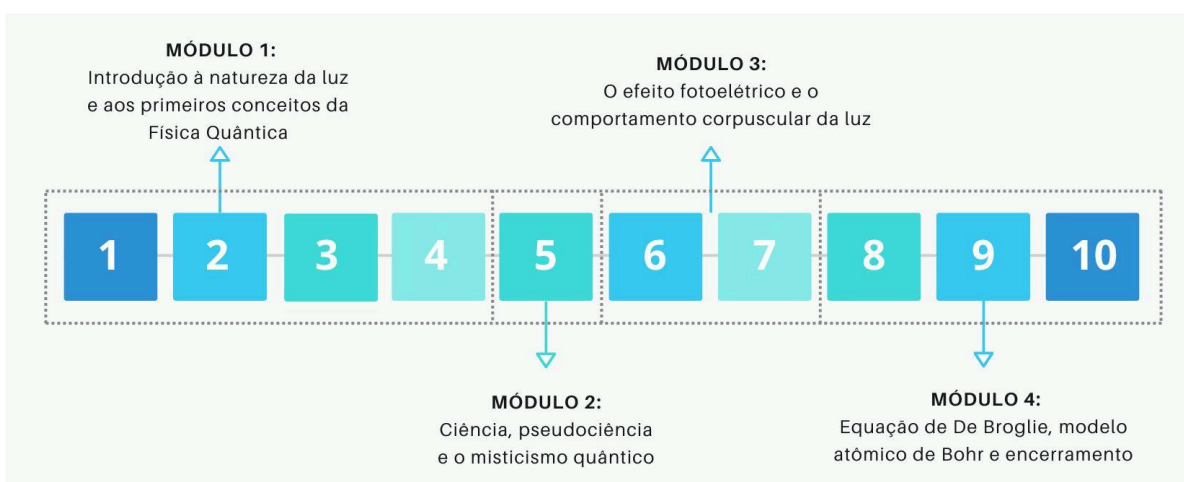
1665	1862	1900	1905	1913	1924
Contribuições de Isaac Newton para a compreensão da Natureza da Luz	James Clerk Maxwell e a Teoria Ondulatória para luz	Planck e o início da Quantização da energia	Einstein publica seus 4 artigos famosos	Novo modelo para a Matéria de Bohr	Ondas de matéria de de Broglie

2 - ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL

A sequência didática foi organizada em quatro módulos interconectados, que seguem uma progressão lógica para a construção do conhecimento em Física Quântica. Cada módulo aborda um conjunto de conceitos essenciais, partindo da introdução à natureza da luz até discussões avançadas sobre a dualidade onda-partícula e a quantização da energia. A estrutura foi planejada para que os estudantes possam relacionar os conteúdos teóricos com atividades experimentais, promovendo a investigação científica e a aprendizagem significativa.

A abordagem adotada busca equilibrar contextualização histórica, experimentação e reflexão crítica, permitindo que os estudantes compreendam não apenas os fundamentos da Física Quântica, mas também sua importância tecnológica e implicações científicas contemporâneas. Além disso, um dos focos centrais da sequência é o combate à pseudociência, explorando como conceitos quânticos são frequentemente distorcidos na mídia e no senso comum. Para isso, atividades específicas foram incluídas para que os estudantes desenvolvam habilidades de análise crítica e aprendam a diferenciar ciência de pseudociência.

Cada módulo contém objetivos claros, um conjunto de aulas interligadas e sugestões de experimentação e discussão, fornecendo um guia completo para o professor. A seguir, são apresentados os módulos da sequência didática e suas respectivas características.



MÓDULO 1

Introdução à Física Quântica e à Natureza da Luz

Objetivos: Introduzir os conceitos fundamentais da Física Quântica a partir de uma abordagem histórica e conceitual da natureza da luz, explorando suas interações com a matéria e preparando os estudantes para a compreensão de fenômenos quânticos em experimentos posteriores.

Aulas incluídas:

- Aula #1 – Apresentação da sequência didática e levantamento de conhecimentos prévios sobre luz, ciência e pseudociência.
- Aula #2 – Estudo da natureza da luz e da teoria das cores, com base nas contribuições de Newton e Goethe.
- Aula #3 – Realização de experimento com fluorescência e diferentes fontes de luz.
- Aula #4 – Discussão dos resultados experimentais e introdução ao conceito de salto quântico e estrutura atômica com base no modelo de Bohr.

Conteúdos trabalhados:

- História da luz: modelos clássicos e transição para o pensamento quântico.
- Natureza dual da luz: corpuscular e ondulatória.
- Conceitos de fluorescência e salto quântico.
- Primeiros elementos da estrutura atômica na física moderna.

Destaques:

- Aproximação entre arte e ciência: uso do pontilhismo como analogia à quantização.
 - Experimentos com luz negra, pigmentos fluorescentes e observações visuais como ferramenta investigativa.
 - Discussão contextualizada do salto quântico como transição entre níveis de energia.
-

MÓDULO 2

Conceitos Fundamentais e a Quantização da Energia

Objetivos: Promover uma reflexão crítica sobre a apropriação indevida de conceitos da Física Quântica por discursos pseudocientíficos, diferenciando o conhecimento científico validado das interpretações equivocadas amplamente difundidas na mídia, na publicidade e em contextos místicos. O bloco busca desenvolver nos estudantes a capacidade de análise e argumentação fundamentada, contribuindo para o letramento científico e a formação cidadã.

Aulas incluídas:

- Aula #5 – Discussão sobre pseudociência e o uso indevido de termos da Física Quântica no senso comum, na cultura pop e em discursos de caráter não científico.

Conteúdos trabalhados:

- Diferença entre ciência e pseudociência.
- Conceito de salto quântico no contexto da física moderna.
- Apropriações equivocadas da Física Quântica na mídia, em propagandas e em discursos místicos.
- O papel da educação científica no combate à desinformação.

Destaques:

- Análise crítica de vídeos e propagandas reais que utilizam indevidamente termos como “energia quântica” e “cura quântica”.
 - Relatos de estudantes sobre experiências pessoais com pseudociência, incluindo situações familiares.
 - Uso de estratégias interativas, como atividades de análise textual e debates orientados, para desconstrução de argumentos pseudocientíficos.
 - Reflexão sobre o impacto social da desinformação científica e o papel do ensino de Física na formação de leitores críticos.
-

MÓDULO 3

Espectroscopia, salto quântico e aplicações científicas

Objetivos: Explorar os conceitos de espectroscopia, emissão e absorção de luz, aprofundando a compreensão do salto quântico e sua relação com a estrutura atômica. Por meio da construção e uso de um espectrógrafo artesanal, os estudantes desenvolvem habilidades experimentais e interpretativas, relacionando os dados obtidos com fenômenos físicos e aplicações científicas, especialmente na astrofísica.

Aulas incluídas:

- Aula #6 – Construção de um espectrógrafo caseiro e introdução ao estudo dos espectros.
- Aula #7 – Análise e interpretação dos espectros de diferentes fontes luminosas (lâmpadas, LED, espectro solar), discutindo sua relação com a quantização da energia e a composição dos elementos.

Conteúdos trabalhados:

- Espectros de emissão e absorção.
- Salto quântico e transições eletrônicas em átomos excitados.
- Espectroscopia como ferramenta científica e suas aplicações tecnológicas e astrofísicas.

Destaques:

- Atividade prática de construção de espectrógrafo com materiais acessíveis.
 - Análise de espectros reais coletados pelo professor com apoio de espectrógrafo no IFGW/UNICAMP.
 - Interpretação das linhas de absorção no espectro solar, incluindo a identificação de elementos como CO_2 e H_2O .
 - Discussão sobre o uso da espectroscopia na astronomia, na identificação de elementos químicos e na estimativa da temperatura de estrelas por meio da Lei de Wien.
-

MÓDULO 4

Dualidade onda-partícula, equação de De Broglie e encerramento

Objetivos: Consolidar os conceitos fundamentais da Física Quântica discutidos ao longo da sequência didática, com foco na dualidade onda-partícula, no efeito fotoelétrico e na equação de De Broglie. Ao final, promove-se uma avaliação global da aprendizagem dos estudantes e uma reflexão crítica sobre os limites da Física Clássica e os avanços proporcionados pela abordagem quântica.

Aulas incluídas:

- Aula #8 – Estudo do efeito fotoelétrico, a partir do questionamento espontâneo de um estudante. Apresentação da explicação de Einstein e uso do simulador PHET.
- Aula #9 – Introdução à dualidade onda-partícula e aplicação da equação de De Broglie a diferentes sistemas físicos.
- Aula #10 – Revisão geral dos conteúdos trabalhados, aplicação do questionário final e discussão sobre os impactos sociais da Física Quântica.

Conteúdos trabalhados:

- O efeito fotoelétrico como evidência do comportamento corpuscular da luz.
- A equação de De Broglie e os limites de aplicação da mecânica quântica.
- O Princípio da Complementaridade de Bohr.

Destaques:

- Utilização do simulador PHET para investigar o efeito fotoelétrico de forma interativa.
 - Atividades de cálculo envolvendo o comprimento de onda de De Broglie, comparando sistemas microscópicos e macroscópicos.
 - Discussão crítica sobre a natureza dual da luz e da matéria.
 - Aplicação de questionário final como instrumento avaliativo e de metacognição, incluindo relatos espontâneos dos estudantes sobre o contato com pseudociência no cotidiano.
-

3 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A sequência didática foi estruturada em dez aulas interligadas, cada uma planejada para introduzir, aprofundar e consolidar os conceitos fundamentais da Física Quântica. As aulas combinam exposição teórica, atividades experimentais, discussões críticas e reflexões investigativas, proporcionando uma abordagem equilibrada entre teoria e prática. Além disso, a proposta incentiva os estudantes a analisarem fenômenos físicos observáveis, realizarem experimentos e diferenciarem ciência de pseudociência, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico e do letramento científico. A seguir, são apresentadas as aulas da sequência, com seus respectivos objetivos, estratégias e orientações para aplicação em sala de aula. As aulas foram planejadas para encontros de 50 minutos e podem ser ajustadas de acordo com a realidade escolar onde o projeto será aplicado.

AULA #1

Apresentação da Sequência Didática e Levantamento de Conhecimentos Prévios



Objetivos da Aula:

- Apresentar a proposta da sequência didática e fornecer uma visão geral da Física Quântica e suas aplicações.
- Levantar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre conceitos fundamentais.
- Estimular reflexões iniciais sobre a presença da Física Quântica no cotidiano.

Recursos necessários:

- Computadores ou celulares com acesso à internet (para preenchimento do questionário online via Microsoft Forms);
- Projetor ou TV multimídia (para apresentação de slides introdutórios);
- Material impresso [opcional](alternativa para estudantes que não puderem acessar o formulário digital).

Introdução (10 minutos)

Instruções:

1. Cumprimente os estudantes e na sequência projete os slides, fazendo uma breve apresentação da sequência didática, explicando que o curso abordará conceitos fundamentais da Física Quântica.

2. Pergunte aos estudantes se já ouviram falar sobre Física Quântica e registre algumas respostas no quadro. A partir das respostas, pergunte o contexto das respostas dos estudantes.
3. Relacione a Física Quântica a exemplos do dia a dia (ex.: telas de celular, lasers, ressonância magnética).
4. Estimule os estudantes a expressarem o que sabem, sem medo de errar.
5. Explique que será aplicado um questionário inicial para levantar os conhecimentos prévios sobre o tema.

Preenchimento do Questionário Inicial (30 minutos)

Instruções:

1. Solicite que os estudantes acessem o formulário online via Microsoft Forms.
2. Caso algum aluno tenha dificuldades técnicas, disponibilize uma versão impressa.
3. Dê 30 minutos para que todos respondam as questões com calma.
4. Após o preenchimento, explique que as respostas serão utilizadas para direcionar as próximas aulas.

 Questionário Inicial:

- O que é a luz? O que você sabe sobre a natureza da luz?
- A cor é uma propriedade do objeto ou depende da luz? Justifique.
- Já ouviu falar em “salto quântico”? O que você sabe sobre o tema?
- Já ouviu falar em “Física Quântica”? O que você sabe sobre o tema?
- Qual o modelo atômico mais atual que você conhece? Explique resumidamente.

Discussão Final e Reflexão (10 minutos)

Instruções:

1. Pergunte aos estudantes como foi a experiência de responder às questões.
 2. Selecione algumas respostas (de forma anônima) e apresente no quadro, dialogue com as respostas dos estudantes.
-

3. Explique que as aulas seguintes irão explorar mais profundamente esses conceitos.

 **Sugestões para aplicação da atividade:**

- Não corrija imediatamente as respostas; o objetivo aqui é mapear o conhecimento prévio, não avaliar acertos e erros.
- Reforce que não há respostas erradas, apenas percepções iniciais que serão trabalhadas ao longo da sequência didática.
- Encerre a aula incentivando a curiosidade: “Na próxima aula, veremos como a luz pode se comportar como onda ou partícula. Como isso é possível?”

Resumo da Aula:

 **Conteúdos abordados:**

- Conceitual: Visão geral da Física Quântica e suas aplicações.
- Procedimental: Preenchimento do questionário inicial.
- Atitudinal: Reflexão sobre a Física Quântica no cotidiano e sua importância científica.

 **Estratégias didáticas:**

- Introdução expositiva utilizando slides.
 - Diálogo interativo com os estudantes.
 - Aplicação de um questionário online.
-

AULA #2

Introdução à Natureza da Luz e Pontilhismo



Objetivos da Aula:

- Introduzir a natureza da luz (ondulatória) e sua relação com a teoria das cores.
- Explorar como a Física Clássica descreve a luz.
- Relacionar arte e ciência por meio da técnica do pontilhismo, estabelecendo uma analogia com a granularidade da matéria e da energia na Física Quântica.
- Estimular o trabalho colaborativo e o pensamento crítico por meio da produção artística.

Recursos necessários:

- Projetor ou TV multimídia para apresentação de slides.
- Imagens e vídeos sobre a teoria das cores e pontilhismo.
- Folhas de papel branco A4 para produção dos desenhos.
- Lápis, canetas coloridas ou tintas guache para a atividade prática.

Introdução à Aula – “O que é a luz?” (10 minutos)

Instruções:

1. Inicie a aula com a pergunta: "O que é a luz?" e peça que os estudantes respondam rapidamente. Registre algumas respostas no quadro.
2. Apresente a teoria ondulatória como uma possível para essa resposta, trazendo algumas evidências históricas.

-
3. Conduza uma breve discussão sobre a teoria das cores dos objetos, perguntando:
 - A cor é uma propriedade do objeto ou depende da luz?
 - Como enxergamos as cores no cotidiano?

Pontilhismo e Granularidade da matéria (15 minutos)

Instruções:

1. Projete algumas imagens diferentes e pergunte: "Essa pintura foi feita com traços contínuos ou pontos?". Alterne as obras, misturando obras clássicas do pontilhismo com outros movimentos da mesma época histórica.
2. Pergunte aos estudantes como poderiam diferenciar um desenho feito com pontilhismo de um desenho tradicional.
3. Associe essa ideia à necessidade de "dar zoom" para observar detalhes invisíveis a olho nu, criando um paralelo com a escala quântica.
4. Explique o conceito de pontilhismo, destacando como pequenos pontos de tinta criam a ilusão de formas e cores quando vistos à distância.
5. Relacione essa técnica artística com a granularidade da matéria e da energia, que será um conceito central na Física Quântica.

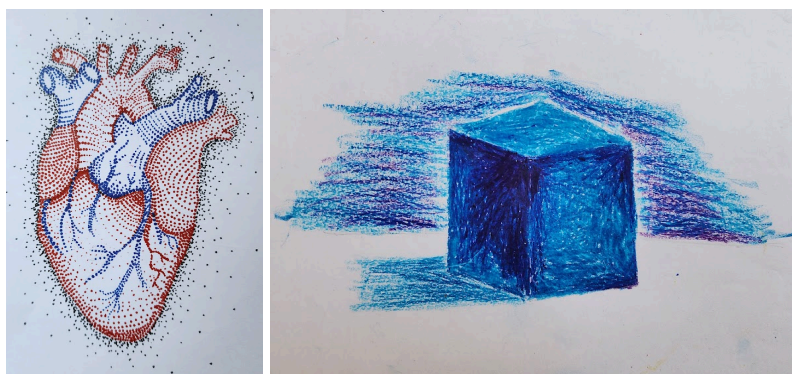
Produção dos Desenhos – Representando a Matéria e a Realidade (25 minutos)

Instruções:

1. Organize os estudantes em pares e entregue folhas de papel e lápis (canetinha, tintas diversas). Os estudantes podem utilizar diferentes técnicas de desenho (pintura, recorte, etc).
 2. Apresente a situação-problema para estimular a criatividade e dar corpo a proposta:
 - "Vocês são artistas e recebem a seguinte missão: precisam representar, em forma de desenho, suas respostas para as perguntas:
 1. O que é a matéria?
 2. O que é a realidade?"
 3. Cada dupla deve criar dois desenhos:
 - Um desenho apenas utilizando traço contínuo.
-

- Outro utilizando a técnica do pontilhismo.
4. Incentive os estudantes a serem criativos e expressivos, sem a preocupação de desenhar "perfeitamente". Recomende a utilização de cores variadas pois isso deixará a atividade prática futura mais interessante.
 5. Circule pela sala, ajudando os estudantes a refletirem sobre como diferentes formas de representação podem modificar nossa percepção da realidade.

Figura 1 - Exemplos de produção dos estudantes



Fonte: Autor

Sugestões para aplicação da atividade:

- Alguns estudantes podem achar difícil criar um desenho abstrato. Estimule-os a pensar em padrões naturais (como texturas de plantas, água, nuvens) ou conceitos científicos (átomos, partículas).
- Reforce que não há respostas certas ou erradas; o importante é o processo de reflexão.
- Se não houver tempo para finalizar os desenhos em sala, peça que os estudantes os completem em casa e tragam na próxima aula.

Resumo da Aula

Conteúdos abordados:

- Conceitual: Teoria das cores de Newton, reflexão da luz, introdução à natureza da luz.
- Procedimental: Produção dos desenhos (contínuo e pontilhado).
- Atitudinal: Trabalho em pares, criatividade na representação da realidade.

 Estratégias didáticas:

- Introdução expositiva utilizando slides e imagens.
- Discussão guiada sobre teoria das cores e pontilhismo.
- Produção artística dos estudantes em pares.

MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA USO DOCENTE:

Breve contextualização histórica sobre o início da Física Quântica

Segundo Pessoa Jr. (2019), se pudéssemos resumir qual é a essência da Física Quântica em relação à Física Clássica, seria o problema da dualidade onda-partícula. Ainda segundo Pessoa Jr. (2019, p. 1), “a Teoria Quântica atribui para qualquer partícula individual aspectos ondulatórios e, para qualquer forma de radiação, aspectos corpusculares”. Partindo dessa visão, optamos por montar a sequência didática com o foco no problema da natureza da luz.

O próprio Planck, em 1919, destacou em uma palestra que a natureza da luz era um dos principais e mais desafiadores problemas da Teoria Quântica (Martins, Rosa, 2014). Para abordar este tema, faremos um breve histórico sobre o início da Física Quântica, iniciando pela contextualização da Física no final do século XIX e início do século XX, começando com as contribuições de Maxwell e culminando com a emergência da Quântica a partir do problema conhecido como "catástrofe do ultravioleta", que deu origem aos desdobramentos iniciais da teoria quântica.

Nos tópicos seguintes, abordaremos dois fenômenos fundamentais que, na virada do século XIX para o século XX, marcaram o início da Física Moderna: a Radiação do Corpo Negro e o Efeito Fotoelétrico. O primeiro, explicado por Max Planck, introduziu o conceito de quantização da energia e é considerado um marco histórico para o surgimento da Física Quântica. Já o segundo, elucidado por Albert Einstein, consolidou a natureza corpuscular da luz. Ambos os fenômenos foram decisivos para o desenvolvimento da Física Quântica, inaugurando uma nova compreensão sobre a interação entre matéria e radiação.

Segundo Martins e Rosa (2014), no final do século XIX, a Física parecia estar completamente resolvida, com muitos cientistas acreditando que os problemas futuros seriam apenas aplicações dos fundamentos já estabelecidos. Durante uma palestra em 1900, Lord Kelvin (1824-1907) sugeriu que a Física estava esgotada,

descrevendo-a como "um céu azul, com algumas nuvens no horizonte." Com regras bem definidas para o comportamento da matéria e das ondas, acreditava-se que aos físicos restava apenas aplicá-las e melhorar a precisão dos experimentos. Essas "nuvens de Kelvin" eram fatos experimentais ainda não explicados, incluindo o experimento de Michelson e Morley e o problema do Corpo Negro. Esses problemas levariam à Teoria da Relatividade e à Teoria Quântica (Martins, Rosa, 2014).

Segundo Griffiths (2011, p. viii): "a teoria quântica não foi criada - nem mesmo determinada definitivamente - por um indivíduo [...]". Para o autor, a quântica "[...] representa uma mudança abrupta e revolucionária das ideias clássicas, suscitando assim uma forma total e radicalmente não intuitiva e nova de se pensar sobre o mundo". Neste trabalho, não será possível mencionar todos os nomes importantes da Física Quântica e o recorte dos nomes foi feito com base na construção da sequência didática.

Saito (2021) descreve três momentos fundamentais no desenvolvimento histórico da Física Quântica. O primeiro momento, compreendido entre 1900 e 1916, corresponde ao surgimento inicial da teoria, tendo como marcos principais os trabalhos pioneiros de Max Planck sobre a quantização da energia e os estudos de Einstein acerca do efeito fotoelétrico. Esses eventos inauguraram uma nova visão sobre a natureza da luz e da energia, desafiando as concepções tradicionais vigentes na Física Clássica.

O segundo período histórico (1916-1927) foi marcado pelo amadurecimento conceitual da Física Quântica, consolidado pelas contribuições de cientistas como Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger e Louis de Broglie. Nessa fase, surgiram modelos mais consolidados, como o modelo atômico de Bohr, a dualidade onda-partícula e as formulações matemáticas da Mecânica Quântica. Nesse contexto, a teoria foi firmando-se como uma base sólida para a explicação de fenômenos até então inexplicáveis pelos modelos clássicos.

O terceiro período, que inicia em 1927, está diretamente associado às interpretações filosóficas e epistemológicas da teoria, especialmente com o debate gerado pelo princípio da incerteza proposto por Heisenberg e as reflexões sobre o papel do observador no processo de medida. Segundo Saito (2021), foi a partir dessas questões interpretativas, frequentemente mal compreendidas, que emergiram as apropriações indevidas da Física Quântica, originando discursos

pseudocientíficos e místicos, os quais se intensificaram sobretudo a partir da segunda metade do século XX, alcançando forte repercussão cultural e midiática.

James Clerk Maxwell e a natureza da luz

Por volta de 1862, James Maxwell calculou que a velocidade de propagação de um campo eletromagnético é aproximadamente igual à da luz e escreveu: "É muito difícil evitar a conclusão de que a luz consiste em ondulações transversais do mesmo meio que é a causa dos fenômenos elétricos e magnéticos" (Griffiths, 2011, p. 262). Esse resultado, extremamente importante, reforça a proposta ondulatória para a natureza da luz.

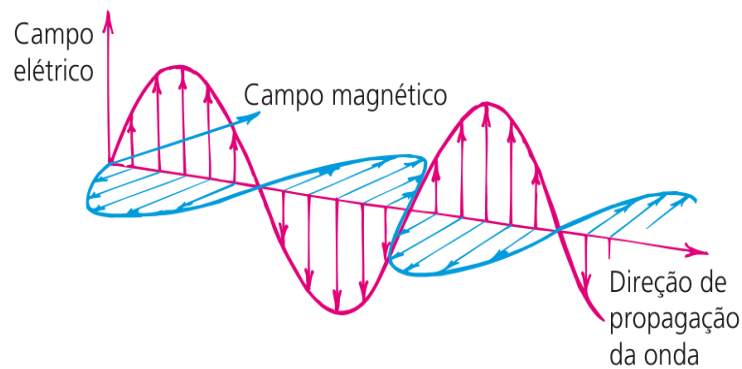
Segundo Griffiths (2011), as equações de Maxwell formam um conjunto de equações diferenciais parciais acopladas, de primeira ordem para **E** e **B**. Elas sugerem que o espaço vazio comporta a propagação de ondas eletromagnéticas viajando a uma velocidade v .

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s,}$$

o que é precisamente a velocidade da luz, c . Ou seja, talvez a luz seja uma onda eletromagnética (Griffiths, 2011).

Enquanto o trabalho de Newton unificou a Mecânica, o trabalho de Maxwell no Eletromagnetismo foi chamado de a segunda grande unificação da Física. Maxwell identificou a relação entre as ondas eletromagnéticas e a luz. Nas ondas planas, os campos elétrico e magnético oscilam perpendicularmente, regenerando-se mutuamente e formando uma onda eletromagnética que se propaga a partir das cargas vibrantes (Hewitt, 2015, p. 480). Um exemplo de esquema simplificado da propagação de uma onda eletromagnética plana pode ser visto na figura 1 a seguir.

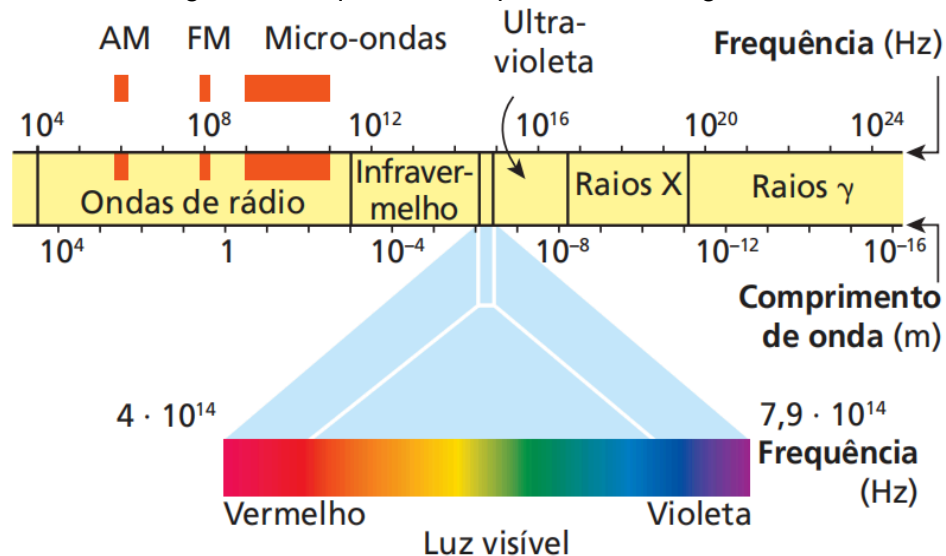
Figura 2 - Os campos elétrico e magnético de uma onda eletromagnética plana.



Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 488).

Pensando especificamente na luz visível, podemos afirmar que ela é composta por ondas eletromagnéticas que se encontram dentro de uma faixa de frequências perceptíveis pelo olho humano. A luz visível é simplesmente radiação eletromagnética cuja frequência encontra-se em uma faixa específica, entre $4,3 \times 10^{14}$ e $7,9 \times 10^{14}$ vibrações por segundo (Hz) - conforme figura 2 a seguir. No vácuo, as ondas eletromagnéticas propagam-se com a mesma rapidez e diferem entre si nas suas frequências. A classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético. Vale ainda que a frequência de uma onda eletromagnética no espaço é idêntica à frequência da carga elétrica oscilante que a gerou (Hewitt, 2015, p. 480).

Figura 3 - Esquema do espectro eletromagnético.



Fonte: Retirado de Vilas Boas, Doca, Biscuola (2012, p. 210).

LEITURA COMPLEMENTAR:

Para conhecer melhor a história por trás do conceito de quantum, sugerimos a leitura do artigo “A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck”, de Nelson Studart. O texto apresenta, de forma clara, os caminhos percorridos por Planck até a formulação da quantização da energia, oferecendo um panorama histórico útil para contextualizar esse marco da Física Quântica em sala de aula.



Disponível em: https://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v22_523.pdf

LEITURA COMPLEMENTAR:

Este livro apresenta uma introdução clara e acessível ao estudo da cor, unindo fundamentos históricos, físicos, fisiológicos e práticos. Com linguagem didática e muitas ilustrações, a autora discute temas como a cor-luz, a cor-pigmento, os sistemas cromáticos, a percepção visual e os efeitos fisiológicos da cor.

Silveira, Luciana Martha. Cor: da teoria à prática. 2.

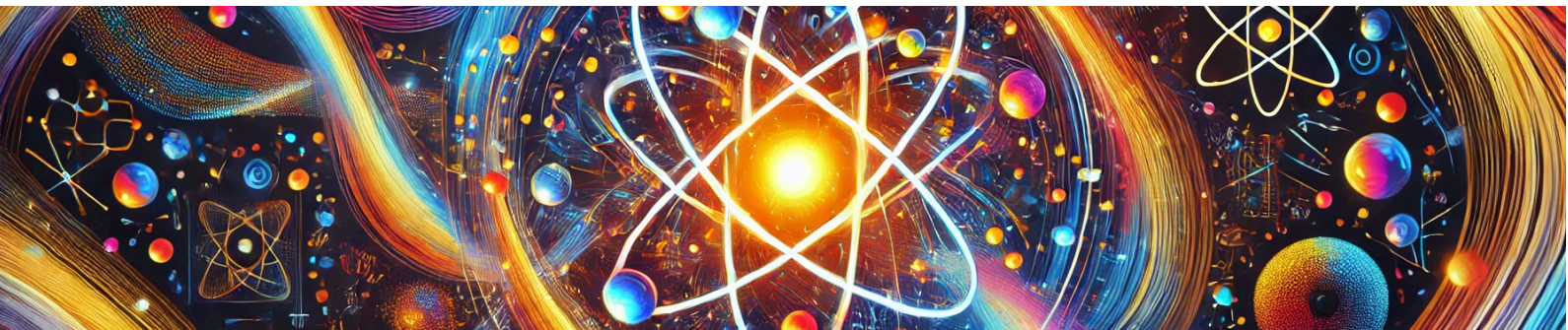
ed. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Disponível em:

<http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1582/4/teoriacor.pdf>



AULA #3

Luz, Cores e Fluorescência



Objetivos da Aula:

- Explorar os efeitos das diferentes fontes de luz sobre os desenhos produzidos na aula anterior.
- Investigar o comportamento da luz ao interagir com materiais fluorescentes.
- Compreender a relação entre espectro eletromagnético, fluorescência e reflexão da luz.
- Estimular o trabalho colaborativo e o pensamento crítico por meio da experimentação.

Recursos necessários:

- Desenhos produzidos pelos estudantes na aula anterior.
- Refletor RGB com controle remoto (ou lâmpada RGB).
- Fonte de luz ultravioleta (UV) (cabine de secagem de unha, lanterna UV ou lâmpada UV de LED).
- Tintas neon para maquiagem ou tinta fluorescente.
- Borrifador com água e laser verde (para demonstração de propagação da luz).
- Folhas para registro e roteiro da atividade (APÊNDICE B – Roteiro Experimental da Atividade Desenhos e Cores).

Introdução à Aula – Propagação da Luz e Reflexão (10 minutos)

Instruções:

1. Inicie a aula perguntando aos estudantes: "A cor que enxergamos nos objetos depende da luz ou apenas do objeto em si?"
2. Explique, com exemplos do cotidiano, que a cor que percebemos depende da luz incidente e de como o objeto reflete ou absorve diferentes cores.
3. Apresente a teoria das cores de Newton e explique o papel da reflexão e absorção da luz na formação das cores que percebemos. O projetor RGB pode ser utilizado nesse momento para auxiliar na compreensão dos estudantes.
4. Sugestão de atividade [extra] para aumentar a curiosidade e introduzir alguns fenômenos luminosos:
 - Realize uma demonstração prática de propagação retilínea da luz:
 - i. Apague as luzes da sala e use um laser verde e um borrifador de água para visualizar o caminho do feixe de luz no ar.
 - ii. Borrife a água para cima e ligue o laser. As gotículas de água dispersam a luz, formando o raio luminoso de forma bem marcada, encantando os estudantes.
 - iii. Pergunte aos estudantes como a experiência pode ajudar a compreender a interação da luz com a matéria.

Figura 4 - Demonstração utilizando laser verde e borrifador de água.



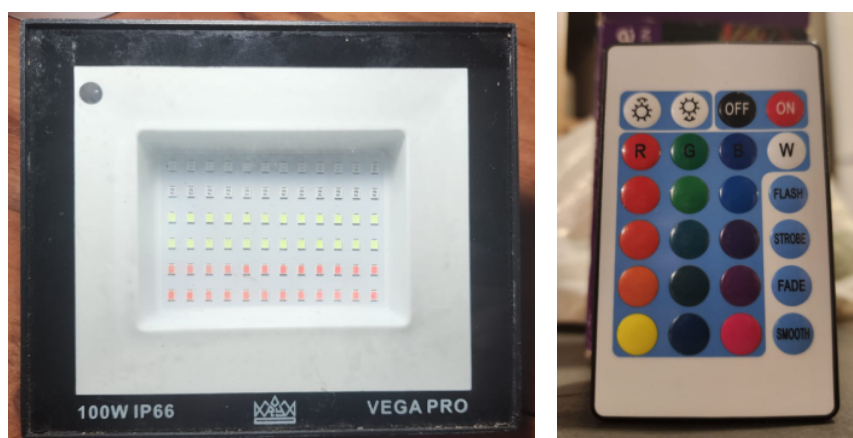
Fonte: Autor.

Experimento com Diferentes Fontes de Luz (30 minutos)

Instruções:

1. Após o momento de introdução, organize os estudantes em grupos e distribua os desenhos produzidos na aula anterior (ou peça que eles tragam de casa).
2. Explique que a proposta inicial da atividade experimental é que eles coloquem seus desenhos sob as diferentes fontes de luz, observem as modificações e registrem.
3. Apague as luzes da sala e utilize as seguintes fontes de iluminação para que os estudantes observem os efeitos:
 - Luz branca (para referência inicial).
 - Refletor RGB, variando entre luz vermelha, azul e verde (para observar a influência de diferentes cores sobre os desenhos).
 - Fonte de luz UV, analisando se algum material fluoresce.

Figura 5 - Refletor RGB e controle remoto utilizados na atividade experimental.



Fonte: Autor.

A fonte de luz UV utilizada foi um secador de unha, conhecido como “cabine”, de baixo custo. É uma fonte de luz de 6W de potência que utiliza LED e emite luz UV e azul/violeta. Outras fontes podem ser utilizadas.

Figura 6 - Fonte de luz UV utilizada na atividade experimental.



Fonte: Autor.

4. Pergunte aos estudantes: "Os desenhos parecem iguais sob todas as iluminações?"
5. Distribua o roteiro experimental (APÊNDICE) e peça que os estudantes respondam às questões sobre o que foi observado.
6. Solicite que registrem:
 - Diferenças entre os desenhos sob cada fonte de luz.
 - Explicações baseadas nos conceitos estudados.
 - Conexões entre fluorescência e espectro eletromagnético.
7. Cada grupo deve entregar um relatório (Modelo no APÊNDICE) no final da aula ou na próxima aula, conforme o tempo disponível.
8. Entregue tintas neon e peça que pintem detalhes adicionais nos desenhos e repitam a observação com a luz UV.
9. Incentive a anotação das observações, destacando como cada tipo de luz altera a percepção das cores.

Figura 6 - Exemplos de desenho observado sob diferentes fontes de luz.



Fonte: Autor.

TINTA FACIAL

FIZEMOS ALGUMAS PINTURAS E DEPOIS ILUMINAMOS COM LÂMPADAS UV.



Sugestões para aplicação da atividade:

- As tintas de maquiagem e pintura corporal foram muito bem recebidas pelos estudantes, que se divertiram e se engajaram na realização da proposta. Seu uso pode tornar a atividade significativamente mais envolvente e atrativa para os estudantes.
- Estimule a curiosidade com perguntas como: *“Por que algumas tintas brilham sob luz UV e outras não?”*
- Explique brevemente o fenômeno da fluorescência, destacando que ele ocorre devido à absorção e reemissão de luz em comprimentos de onda diferentes.

Figura 7 - Tintas Neon para maquiagem (esq.) e fotos da aplicação (dir.)



Fonte: Autor

Discussão sobre as Observações e encerramento (10 minutos)

Instruções:

1. Peça que cada grupo compartilhe suas percepções sobre as mudanças nos desenhos sob diferentes luzes.
2. Faça perguntas aos estudantes:
 - O que acontece com as cores dos desenhos sob luzes RGB?
 - Qual a relação entre fluorescência e espectro eletromagnético?
 - Por que algumas tintas brilham na luz UV enquanto outras não?
3. Relacione os conceitos explorados com aplicações reais, como:
 - O uso de luz UV para autenticação de cédulas e documentos.
 - O funcionamento de materiais fluorescentes em decorações e festas.
 - O efeito da luz em óculos de proteção UV e sua importância para a saúde ocular.

Resumo da Aula

Conteúdos abordados:

- Conceitual: Teoria das cores, sistema RGB, reflexão da luz e fluorescência.
- Procedimental: Observação e registro de mudanças nos desenhos sob diferentes fontes de luz.
- Atitudinal: Trabalho em pares, análise crítica dos fenômenos observados.

Estratégias didáticas:

- Demonstração com laser e borrifador de água.
- Experimentos interativos com luzes RGB e UV.
- Registro das observações e elaboração de um relatório experimental.

Sugestão de Avaliação:

- Registro detalhado das observações no relatório experimental.
 - Participação na discussão final sobre as propriedades da luz.
-

MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA USO DOCENTE:

Breve história sobre a natureza da luz e fenômenos luminosos

Neste momento da sequência didática, retomamos a visão de Isaac Newton sobre a natureza da luz e suas contribuições para a teoria das cores. Seus experimentos com prismas, realizados no século XVII, permitiram demonstrar que a luz branca é composta por diferentes cores, o que marcou um avanço fundamental na compreensão dos fenômenos ópticos. Essa abordagem, baseada na ideia de luz como partículas (corpúsculos), teve grande influência na física clássica e fornece uma base histórica importante para a introdução dos conceitos da Física Quântica.

A Física clássica distingue dois tipos de fenômenos: partículas e ondas. Partículas são pequenos objetos com massa que seguem as leis de Newton, movendo-se em linhas retas a menos que uma força as desvie. Ondas, como as do oceano, se propagam através do espaço e sofrem difração e interferência ao encontrarem obstáculos. Essas propriedades distinguem claramente partículas de ondas, que parecem ser mutuamente exclusivas. Contudo, a classificação da luz como partícula ou onda foi um enigma por séculos (Hewitt, 2015).

Desde a Antiguidade, várias teorias tentaram explicar a natureza da luz. Platão acreditava que a luz consistia em raios emitidos pelo olho, visão compartilhada por Euclides um século depois. Os pitagóricos, por outro lado, defendiam que a luz era composta de partículas minúsculas emitidas por corpos luminosos. Empédocles sugeriu que a luz era formada por ondas de alguma espécie e muito velozes (Hewitt, 2015).

Em 1704, Isaac Newton descreveu a luz como uma corrente de partículas ou corpúsculos, apesar de reconhecer propriedades ondulatórias. Christian Huygens, contemporâneo de Newton, defendia a teoria ondulatória da luz. Com esse histórico, Thomas Young realizou, em 1801, o experimento da fenda dupla, que parecia provar a natureza ondulatória da luz.

Essa visão foi reforçada pela previsão de Maxwell, em 1862, de que a luz transporta energia em campos elétrico e magnético oscilantes. Em 1887, Heinrich Hertz demonstrou a realidade das ondas eletromagnéticas usando circuitos elétricos que produziam faíscas. (Hewitt, 2015).

De acordo com Hewitt (2015), em 1900 Max Planck propôs que a energia era emitida em quantidades discretas, chamadas de *quanta*, com energia proporcional à frequência da radiação. Essa ideia revolucionou a física e marcou o início da Teoria Quântica (ver Seção 3.1.3, na qual esse tema é discutido com maior profundidade). O conceito ganhou força em 1905, quando Albert Einstein publicou um artigo argumentando que a luz interage com a matéria em pequenos "pacotes" de energia, chamados *fótons*, desafiando a visão exclusivamente ondulatória da luz.

Contribuições de Isaac Newton

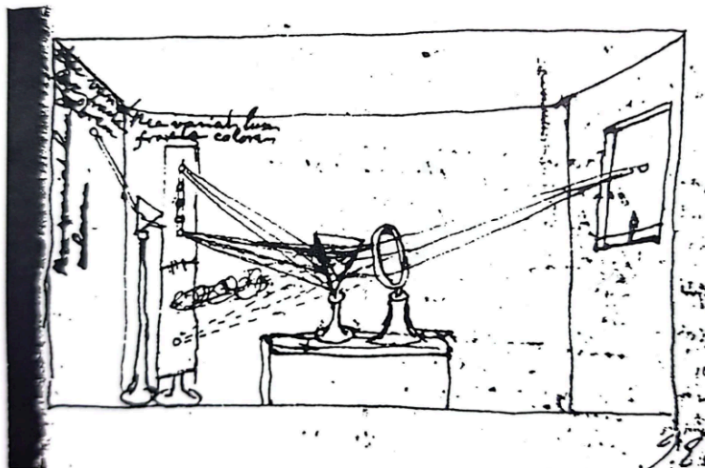
A resposta de um material à incidência de luz depende da frequência da luz e da frequência natural dos elétrons no material. A luz visível oscila a uma frequência muito alta, cerca de 100 trilhões de vezes por segundo (maior que 10^{14} Hz). Para que um objeto eletrizado responda a essas vibrações rápidas, ele deve ter pouca inércia. Como a massa dos elétrons é muito pequena, eles conseguem vibrar nessa frequência. A maioria das coisas ao nosso redor é opaca – absorvem a luz sem reemitir. Livros, escrivaninhas, cadeiras e pessoas são opacos. As vibrações comunicadas a seus átomos ou moléculas pela luz são transformadas em energia cinética aleatória, ou seja, em energia interna, fazendo com que os corpos se tornem ligeiramente mais quentes. (Hewitt, 2015, p. 491).

Isaac Newton ganhou fama inicialmente por seus estudos sobre a luz, antes mesmo de suas leis do movimento e da gravitação universal. Por volta de 1665, ao observar imagens de corpos celestes formadas por uma lente, ele notou colorações nas bordas das imagens. Para investigar esse fenômeno, Newton escureceu um quarto, deixando a luz solar entrar apenas por uma pequena abertura circular na janela, projetando uma mancha luminosa na parede oposta. Ao colocar um prisma triangular de vidro no feixe de luz, ele observou que a luz branca se separava nas cores do arco-íris. Um esquemático do experimento descrito pode ser visto na figura 16, a seguir.

Newton demonstrou que a luz branca é composta por todas as cores do arco-íris e que o arco-íris resulta da dispersão da luz solar em pequenas gotas de água no céu. Ele também descobriu que as cores dispersas podiam ser

recombinadas para formar luz branca novamente ao utilizar um segundo prisma (Hewitt, 2015, p. 492).

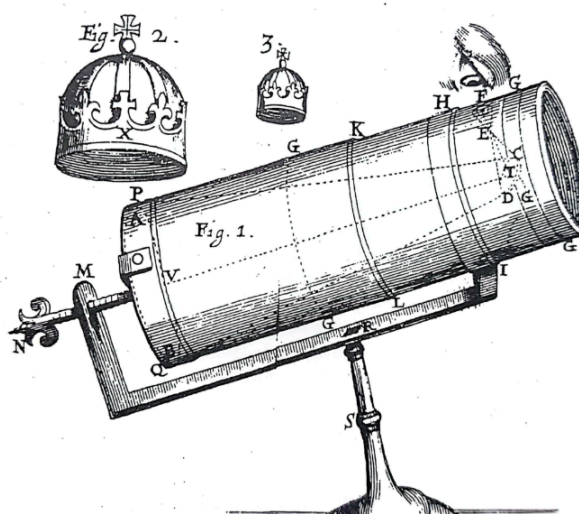
Figura 8 - Esquema original proposto para o experimento de Newton com os prismas.



Fonte: Retirado de Newton (p. 66, 2017)

Em reconhecimento por seus trabalhos, como o estudo da luz, Newton foi eleito membro da Royal Society de Londres. Na academia, ele apresentou o primeiro telescópio refletor do mundo em 1671, que ainda pode ser visto na biblioteca da Royal Society. Um esquema do telescópio projetado por Newton pode ser visualizado na figura 17.

Figura 9 - Na figura, as duas coroas são o mesmo objeto visto a 90 metros de distância pelo telescópio refletor de Newton (fig.2) e por um telescópio refrator (fig.3) como 61 cm de comprimento (que aumentava 14 vezes).



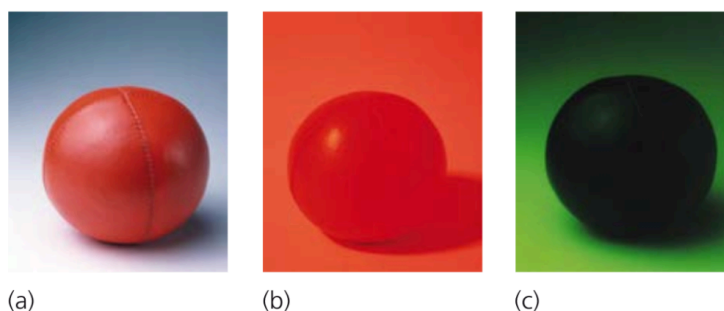
Fonte: Retirado de Newton (2017, p. 103)

Cores e reflexão da luz

Para os físicos, as cores dos objetos não estão nas substâncias dos próprios objetos, nem na luz que eles emitem ou refletem, mas são uma experiência fisiológica que ocorre no olho do espectador a partir da frequência da luz incidente. As cores que percebemos dependem da frequência da luz incidente. Luzes com diferentes frequências são percebidas como diferentes cores; a luz de frequência mais baixa que podemos detectar aparece como vermelha, e a de frequência mais alta como violeta. Entre essas duas extremidades, há uma faixa de matizes que formam o espectro de cores de um arco-íris. Por convenção, esses matizes são agrupados em sete cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. Juntas, essas cores formam a luz branca. A luz branca do Sol é uma composição de todas as frequências visíveis, além de incluir outras frequências fora da faixa visível, como o ultravioleta e o infravermelho (Hewitt, 2015).

A maioria dos objetos ao nosso redor reflete luz melhor do que a emite, refletindo apenas parte da luz incidente, responsável por suas cores. A luz é refletida pelos objetos de forma semelhante ao som emitido por um diapasão e refletido em um objeto próximo. Átomos e moléculas funcionam de maneira similar: os elétrons mais externos oscilam devido aos campos elétricos das ondas eletromagnéticas, emitindo suas próprias ondas. Materiais diferentes têm frequências naturais distintas para absorver e emitir radiação. Nas frequências de ressonância, a luz é absorvida, enquanto em frequências fora da ressonância, a luz é reemitida, constituindo a reflexão. Normalmente, um material absorve luz de certas frequências e reflete o restante, aparecendo na cor da luz refletida (Hewitt, 2015).

Figura 10: (a) A bola vermelha vista sob luz branca. (b) A bola vermelha vista sob luz vermelha. (c) A bola vermelha vista sob luz verde.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 506).

A aparência de um objeto colorido depende das frequências presentes na luz que o ilumina. Podemos ver essa relação luz x objeto na figura 18, na qual uma bola vermelha é iluminada por três diferentes fontes de luz. Um objeto só pode refletir as frequências presentes na luz incidente. Por exemplo, uma lâmpada incandescente emite mais luz em frequências mais baixas, intensificando os tons vermelhos. Normalmente, definimos a cor "verdadeira" de um objeto como a cor que ele exibe sob a luz solar (Hewitt, 2015).

Misturando cores: RGB e óptica da visão

Nesta seção, faremos uma breve discussão a respeito das cores, dos sistemas de representação cromática (RGB e CMY) e de algumas de suas aplicações. Como já apresentado anteriormente, as explicações para os fenômenos relacionados à luz passaram a se tornar mais precisas a partir do século XVII, com Isaac Newton, responsável por um grande avanço no estudo da óptica.

A teoria de Newton sobre a luz e as cores teve grande impacto na história da ciência ao demonstrar que a luz branca, ao passar por um prisma, decompõe-se em diferentes cores do espectro - esquemático apresentado anteriormente na figura 16. Essa descoberta contrariava concepções anteriores, que atribuíam a coloração da luz a modificações causadas por meios externos. Newton estabeleceu as cores do espectro visível com base na decomposição da luz solar, defendendo a existência de três cores primárias da luz: vermelho, verde e azul (RGB). No campo dos estudos cromáticos, seus trabalhos são considerados um marco no desenvolvimento da ciência da cor. A chamada ciência da cor está inserida na Teoria da Cor e é definida como o estudo dos aspectos físicos da cor (Silveira, 2015).

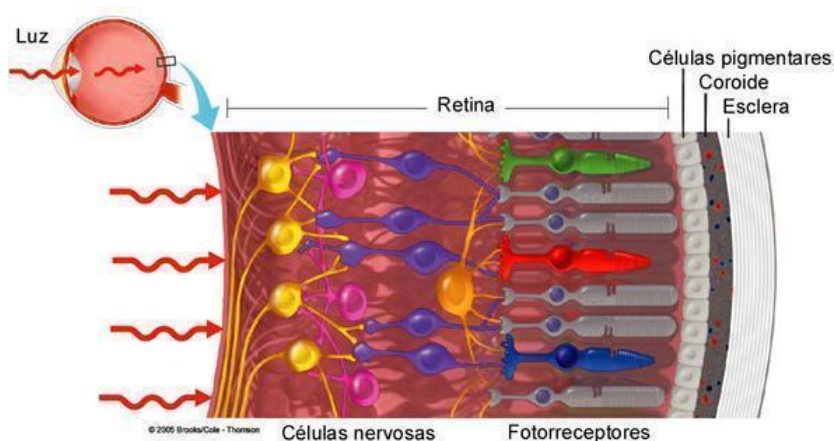
Segundo Silveira (2015), surge nesse contexto um nome importante na literatura que se dedicou ao estudo do fenômeno das cores: Johann Wolfgang von Goethe. O poeta e pensador do século XVIII opôs-se à concepção newtoniana da luz, fazendo duras críticas e argumentando que a teoria proposta por Newton não explicava satisfatoriamente os fenômenos perceptivos relacionados às cores. Para Goethe, a cor era um fenômeno que envolvia a interação entre luz, escuridão e percepção humana, e não apenas uma decomposição objetiva da luz. Sua crítica,

portanto, não era apenas científica, mas também filosófica e estética, como desenvolvido em sua obra Doutrina das Cores.

Essa divergência entre Newton e Goethe reflete uma diferença mais profunda entre duas formas de compreender o mundo: a abordagem objetiva, experimental e matemática de Newton, e a abordagem subjetiva, fenomenológica e perceptiva de Goethe. Enquanto o cientista analisava a luz por meio de instrumentos ópticos e cálculos, o poeta observava como as cores se manifestavam ao olhar humano. Essa disputa ecoa até os dias atuais em discussões sobre sistemas de cores como RGB e CMY: o primeiro, baseado na adição de luz (como ocorre em telas e dispositivos eletrônicos); o segundo, na subtração de pigmentos (como ocorre em materiais impressos). Como mostra Silveira (2015), parte da confusão histórica sobre as cores decorre justamente dessa distinção entre as cores do espectro (luz) e as cores dos pigmentos, percebidas de maneira diferente pelo sistema visual humano. A oposição entre as visões de Newton e Goethe ilustra, portanto, a complexidade do fenômeno cromático, que envolve tanto aspectos físicos quanto sensoriais e culturais.

Para compreender esses processos, é necessário olhar para a composição do olho humano. A Figura 19 apresenta os detalhes estruturais da retina, composta basicamente por células nervosas e fotorreceptores. Dentre esses, destacam-se os cones e os bastonetes. Os cones — divididos em três tipos, sensíveis às faixas do vermelho, verde e azul — são responsáveis pela percepção das cores. Já os bastonetes, representados na figura em cinza, são sensíveis às variações de luminosidade, sendo responsáveis pela visão em tons de cinza, bem como pela visão periférica.

Figura 11 - Esquemático do olho humano.

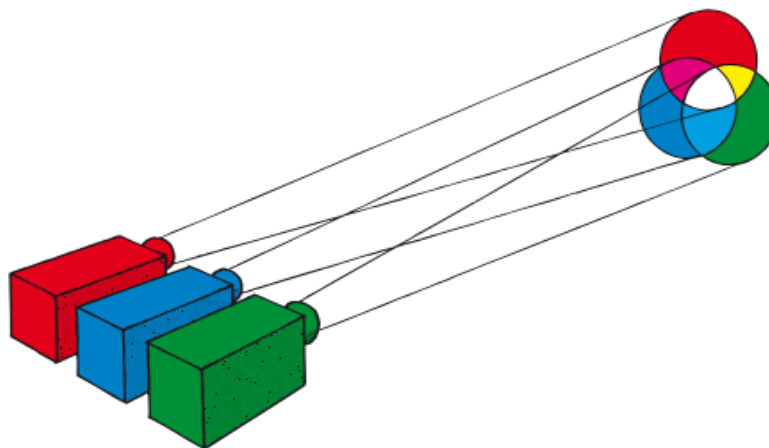


Fonte: Disponível em:

https://www2.ibb.unesp.br/nadi/Museu2_qualidade/Museu2_corpo_humano/Museu2_como_funciona/Museu_homem_nervoso/Museu_homem_nervoso_visao/Museu2_homem_nervoso_visao_mecanismo.htm. Acesso em: 25 maio 2024.

Ou seja, nossa visão é tricrômica; vemos todas as cores baseadas em apenas três: o vermelho, o azul e o verde; além da escala de cinza. O sistema baseado nas três cores que sensibilizam nossos cones é chamado de RGB (Red, Green and Blue) - trad. vermelho, verde e azul. O RGB trabalha por adição de cores, ou seja, se somarmos as três cores básicas, nas proporções corretas, obteremos a cor branca - figura 20 (Hewitt, 2015).

Figura 12: A mistura de luzes coloridas. Quando três projetores emitem luzes vermelha, verde e azul sobre uma tela branca, as áreas de superposição produzem diferentes cores. O branco é gerado onde as três luzes se sobrepõem.



Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 506).

A Figura 21 ilustra um experimento com três lâmpadas RGB projetando suas cores na parede branca, criando uma "sombra colorida". Este experimento demonstra o sistema de cores RGB (vermelho, verde e azul) e suas complementares CMY (ciano, magenta e amarelo), permitindo a visualização prática de como essas cores se combinam e interagem para formar outras cores.

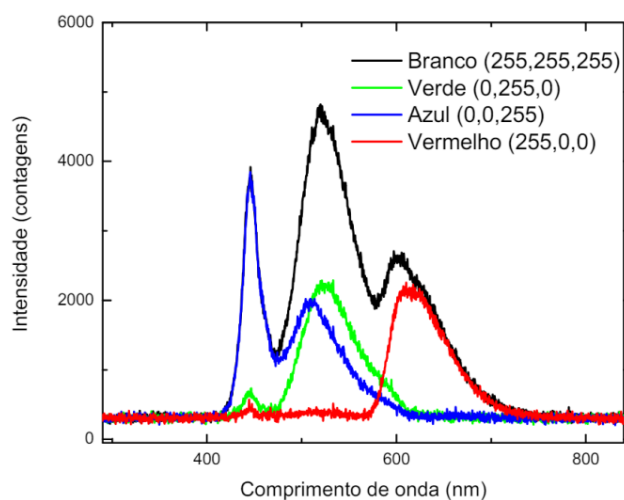
Figura 13: Experimento realizado utilizando 3 lâmpadas RGB.



Fonte: Autor.

A Figura 22 apresenta outro exemplo de composição da luz: o espectro coletado das três cores emitidas por um monitor RGB (vermelho, verde e azul) e da cor branca. No gráfico, observa-se que a cor branca é resultante da sobreposição das cores RGB, evidenciando como a combinação dessas três cores primárias gera a luz branca.

Figura 14- Espectro coletado das principais cores de um monitor RGB e do Branco.



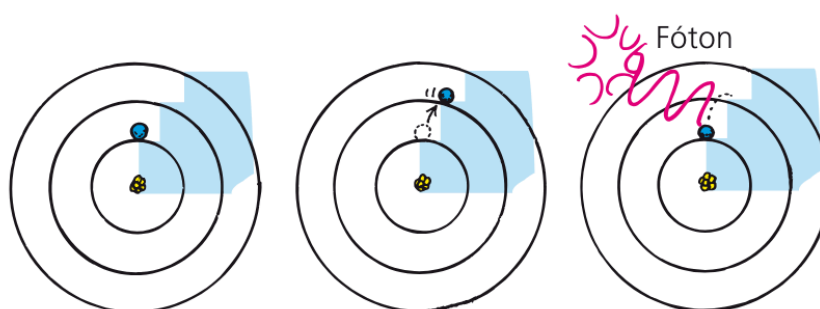
Fonte: Autor.

Fluorescência, Fosforescência e Bioluminescência

A emissão de luz atômica envolve transições de elétrons de estados de maior energia para estados de menor energia dentro dos átomos. Esse processo pode ser entendido, de forma simplificada, pelo modelo planetário do átomo proposto por Bohr. Cada elemento é caracterizado pelo número de elétrons em suas camadas ao

redor do núcleo, possuindo um padrão específico de estados de energia, chamados de estados quânticos, que são discretos e únicos para cada elemento. Quando um elétron é promovido a um nível de energia mais alto, o átomo é considerado excitado. Essa elevação do elétron é temporária. Logo, o elétron retorna ao seu nível de energia mais baixo e o átomo libera a energia adquirida em forma de radiação (Hewitt, 2015). Nesse processo, o átomo passa por uma excitação seguida de relaxação, conforme Figura 23.

Figura 15: Esquema do processo de excitação e relaxação do elétron.



Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 564).

Quando elétrons "caem" de níveis de energia mais altos para mais baixos, eles emitem fótons. A frequência do fóton está relacionada à diferença de energia entre os níveis. Um fóton pode ser visto como um corpúsculo de pura energia – uma "partícula" de luz – que é ejetado pelo átomo.

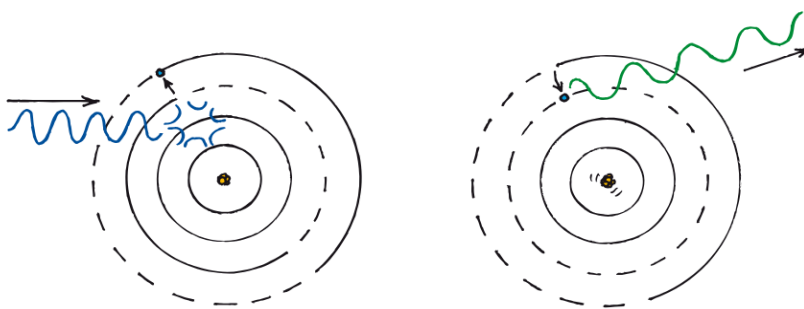
A compreensão dos processos de excitação e relaxação atômica é fundamental para explicar muitos fenômenos em Física, incluindo a fluorescência e a fosforescência. Segundo Hewitt (2015), "o processo de excitação/relaxação pode ser descrito precisamente apenas pela Mecânica Quântica. Ao tentar visualizar o processo em termos da Física Clássica, acabamos chegando a contradições". Isso destaca a necessidade de abordagens quânticas para uma explicação precisa.

Além da agitação térmica e do bombardeio por partículas rápidas, como elétrons, existem outras formas de excitar um átomo. Uma dessas formas é a excitação por calor, onde a energia térmica aumenta a movimentação dos átomos, promovendo elétrons a níveis de energia mais altos. Outra maneira é através da incidência de luz, na qual fótons são absorvidos pelos átomos, fornecendo a energia

necessária para que os elétrons sejam excitados para estados de energia superiores.

Conforme a relação $E = h.f$, a luz de alta frequência, como a ultravioleta, transmite mais energia por fóton do que a luz de frequência mais baixa. Algumas substâncias quando excitadas pela luz ultravioleta, ao relaxarem, emitem luz visível. Este fenômeno é conhecido como **fluorescência**. Nesse processo, um fóton de luz ultravioleta excita o átomo, elevando um de seus elétrons a um estado de energia mais alto. Durante a desexcitação, o átomo pode fazer vários saltos menores, emitindo fótons de energias menores em cada salto. Ou seja, na fluorescência temos uma luz invisível ao olho humano incidindo e uma luz dentro da faixa do visível sendo emitida na relaxação.

Figura 16- Esquemático representando o processo da Fluorescência.



Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 570).

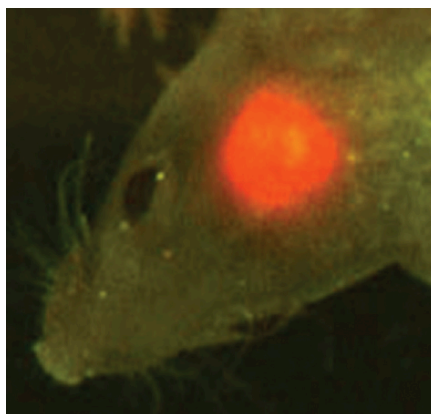
Certos cristais e grandes moléculas orgânicas, quando excitados, permanecem em estado excitado por um tempo prolongado. Diferente dos materiais fluorescentes, seus elétrons são elevados a órbitas mais altas e ficam aprisionados, resultando em um atraso entre a excitação e a relaxação. Esse fenômeno é conhecido como **fosforescência**. Um exemplo clássico de fosforescência é o fósforo, usado em ponteiros de relógios que brilham no escuro e outros objetos similares. Os átomos ou moléculas desses materiais são excitados pela luz visível, mas ao contrário dos materiais fluorescentes, muitos de seus átomos permanecem em um estado *metaestável* – um estado prolongado de excitação que pode durar várias horas, embora a maioria relaxe mais rapidamente.

Outro processo relacionado à emissão de luz é a **bioluminescência**, que, embora não dependa de excitação por luz ultravioleta ou visível como a

fluorescência e a fosforescência, também envolve transições eletrônicas em átomos ou moléculas. Em organismos bioluminescentes, a excitação eletrônica ocorre por meio de reações químicas, resultando na emissão de luz visível. Segundo Viviani e Bechara (2008), a bioluminescência é o processo de emissão de luz visível por organismos vivos como função de comunicação biológica.

Um exemplo de bioluminescência é a Proteína Fluorescente Verde (GFP), descoberta por Osamu Shimomura, em 1962, ao isolar a proteína de águas-vivas. Ele observou que, ao ser irradiada com luz azul, a GFP emitia luz verde. A GFP tornou-se uma ferramenta essencial para marcar e visualizar processos biológicos em células vivas. Em 2008, Shimomura, Martin Chalfie e Roger Tsien foram agraciados com o Prêmio Nobel de Química por suas contribuições na descoberta e desenvolvimento da GFP e suas aplicações em biologia e medicina.

Figura 17- Visualização de tumor marcado com uma variante vermelha da GFP: uma aplicação biofotônica de proteínas bioluminescentes como GFP e luciferases.

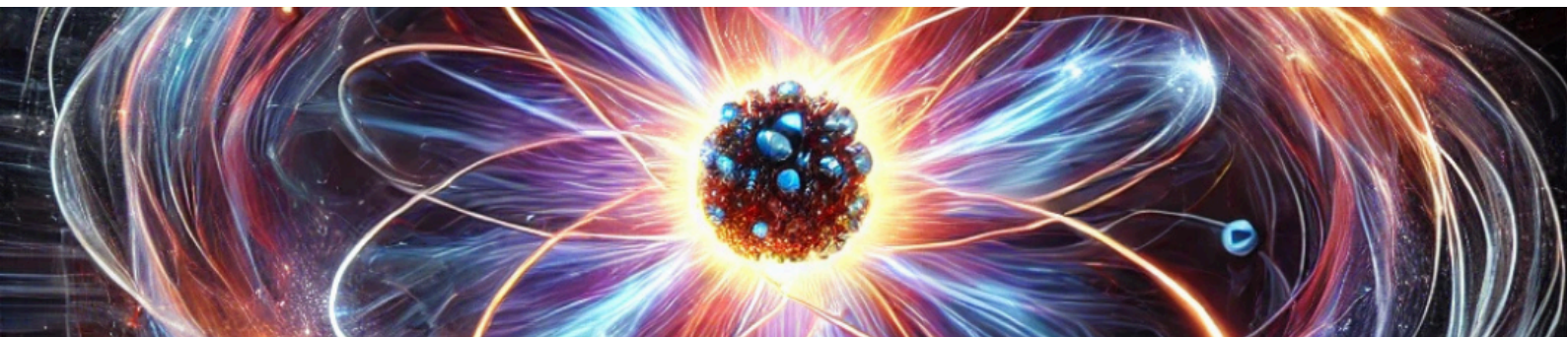


Fonte: Retirado de Viviani e Bechara (2008, p. 26)

O estudo dos fenômenos de emissão de luz, como a fluorescência, fosforescência e bioluminescência, revela a diversidade de interações entre matéria e energia luminosa, sendo explicado pela Física Quântica. Esses fenômenos desempenham papéis fundamentais em várias áreas da ciência, como física e biologia molecular. O desenvolvimento de ferramentas, como o espectroscópio e a utilização de proteínas fluorescentes como a GFP, exemplifica o impacto do conhecimento da luz em avanços científicos e tecnológicos, com aplicações inovadoras na ciência e na medicina.

AULA #4

Fluorescência, Quantização da Energia e Salto Quântico



Objetivos da Aula:

- Discutir as observações feitas no experimento anterior, analisando os efeitos das diferentes fontes de luz.
- Introduzir os conceitos de quantização da energia e salto quântico como modelo explicativo para a fluorescência e as emissões luminosas, evidenciando a limitação da física clássica para explicar o fenômeno.
- Contextualizar historicamente o desenvolvimento da Física Quântica, desde a radiação de corpo negro até o modelo atômico de Bohr.

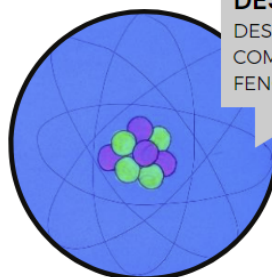
Recursos necessários:

- Projetor ou TV multimídia para apresentação de slides e vídeo.
- Questionário Pós-Atividade (Impresso ou online).

Discussão das observações e reflexões (15 minutos)

Instruções:

1. Divida os estudantes em pequenos grupos e peça que compartilhem suas anotações sobre o comportamento dos desenhos sob diferentes fontes de luz.



DESENHO DOS ALUNOS

DESENHO DE UMA ALUNA ILUMINADO COM LÂMPADA UV APRESENTANDO O FENÔMENO DA FLUORESCÊNCIA.

2. Projete as imagens de um ferro incandescente e de um vagalume, questionando:

- O que esses dois fenômenos têm em comum?
- Será que o mecanismo de emissão de luz é o mesmo?
- Como isso se relaciona com a fluorescência observada na aula anterior? Tem relação com o “brilho neon” ?

Figura 18 - Imagens apresentadas aos estudantes: ferro incandescente e vagalume.



Disponível em: <https://depositphotos.com/br/photos/ferro-incandescente.html>

acesso em 21/10/2024

3. Registre as respostas dos estudantes no quadro e conduza a transição para a explicação teórica.

Sugestões para aplicação da atividade:

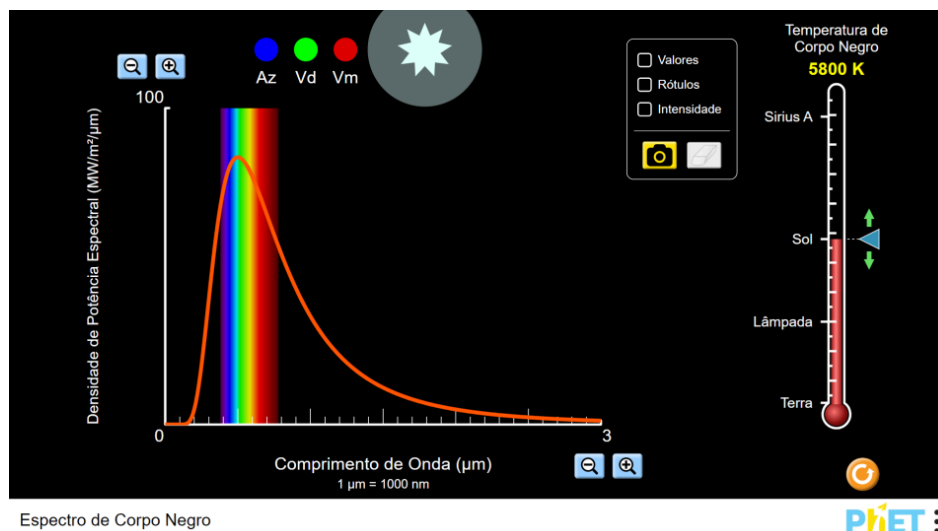
- Direcione a discussão para a diferença entre incandescência e luminescência, destacando as diferenças nos fenômenos de fluorescência, fosforescência e bioluminescência.

Introdução ao Salto Quântico e Quantização da Energia (15 minutos)

Instruções:

1. Faça uma “pausa histórica”, contextualizando os estudantes no ano de 1900 e apresentando as contribuições de Max Planck sobre a radiação de corpo negro e o problema da catástrofe do ultravioleta.
2. Utilize o Simulador PHET – Radiação de Corpo Negro disponível em [PHET Colorado](#) para demonstrar como a radiação de corpo negro varia com a temperatura.

Figura 19 - Simulador sobre espectro de Corpo Negro utilizando durante a aula.



Fonte: Autor (disponível

em: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_all.html?locale=pt_BR).

3. Apresente a quantização de Planck, destacando a equação $E = h \cdot f$, e relacione com a necessidade de um novo modelo atômico.
4. Explique a evolução do modelo atômico de Rutherford para o modelo de Bohr, mostrando como os níveis de energia e as transições eletrônicas foram introduzidos para explicar a emissão de luz pelos átomos.

 Sugestões para aplicação da atividade::

- Relacione o conceito de salto quântico com a fluorescência observada na aula anterior.
- Pergunte aos estudantes: "Se a luz ultravioleta fez os materiais brilharem na aula passada, qual é o papel da energia nesse processo?"
- Se houver disponibilidade de tempo e recursos, os estudantes podem explorar o simulador de forma interativa, em vez de apenas acompanhar a apresentação sugerida.

Aplicação Conceitual e Vídeo Explicativo (10 minutos)

Instruções:

- 1) Apresente o vídeo: A Escala do Universo Quântico | O que é quantização? disponível em: [YouTube - Universo Narrado](#).
- 2) Peça que os estudantes anotem pontos principais enquanto assistem ao vídeo.
- 3) Após o vídeo, faça uma discussão guiada com as seguintes perguntas:
 - a) Como a ideia de quantização de energia mudou nossa visão sobre o átomo?
 - b) Qual é a relação entre salto quântico e espectros de emissão atômica?
 - c) Como a Física Quântica pode ser aplicada em tecnologias do cotidiano?

Questionário Pós-Atividade (10 minutos)

Instruções:

- 1) Distribua o Questionário Pós-Atividade.
- 2) Dê 10 minutos para os estudantes responderem individualmente às questões, como:
 - a) A teoria das cores clássica consegue explicar as diferenças observadas nos desenhos sob luz branca e luz colorida? Justifique.
 - b) O que são materiais fluorescentes e sob quais condições eles brilham?
 - c) Explique o conceito de salto quântico e sua relação com fluorescência.
 - d) Pesquise sobre salto quântico e relate os resultados apresentados pelo buscador.
 - e) Qual a relação entre o brilho observado com a luz UV e o conceito de salto quântico?

 Sugestões para aplicação da atividade::

- Incentive os estudantes a utilizarem seus registros da atividade experimental e as explicações dadas em aula para responderem ao questionário.
-

Resumo da Aula

Conteúdos abordados:

- Conceitual: Fluorescência, salto quântico, estrutura atômica, corpo negro, quantização da energia e modelo de Bohr.
- Procedimental: Pesquisa sobre salto quântico e fluorescência, análise de fenômenos de emissão de luz.
- Atitudinal: reflexão crítica sobre os fenômenos observados.

Estratégias didáticas:

- Compartilhamento de observações e discussão em grupo.
- Aula expositiva com imagens e utilização do simulador PHET.
- Exibição de vídeo e debate guiado.
- Aplicação de questionário reflexivo.

Sugestão de Avaliação:

- Participação na discussão e registros das observações do experimento.
- Respostas ao questionário pós-atividade.

MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA USO DOCENTE:

A investigação do problema da radiação térmica

Segundo Martins e Rosa (2014), o surgimento da Teoria Quântica é resultado das investigações do que era chamado “corpo negro” – um corpo ideal que quando aquecido pode emitir radiação infravermelha, luz visível e outras radiações. Ainda segundo os autores, inicialmente foi desenvolvida a teoria dos calores específicos – e não do corpo negro – que chamou a atenção da comunidade científica para o problema da quantização de energia. Durante os primeiros vinte anos do século XX, cientistas como Planck, Einstein e Bohr contribuíram significativamente para o desenvolvimento da quântica e serão citados ao longo do texto.

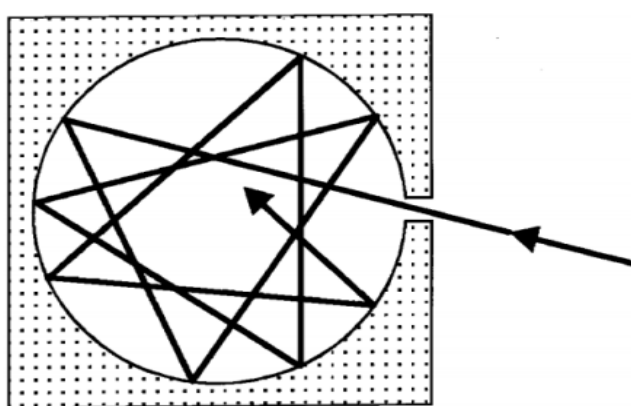
Um corpo aquecido emite radiação eletromagnética em um amplo espectro contínuo de frequências, principalmente na região do infravermelho, com intensidade variável que atinge um máximo em um determinado comprimento de onda. O Sol,

cuja temperatura na superfície é de cerca de 6.000°C , é o exemplo mais conhecido de emissão de radiação térmica, cujo espectro abrange toda a região visível, incluindo ainda comprimentos de onda maiores (infravermelho) e menores (ultravioleta).

De maneira geral, matéria e radiação interagem atingindo o equilíbrio termodinâmico através de trocas de energia. Os corpos que emitem espectros térmicos de caráter universal, cujas superfícies absorvem toda a radiação térmica incidente sobre eles, são chamados de corpos negros. Esses corpos não refletem nem transmitem radiação e sua emissão depende exclusivamente de sua temperatura (Eisberg, Resnick, 1979).

Apesar de ser um corpo ideal, um corpo negro pode ser construído com boa aproximação utilizando uma caixa oca (como um forno) com paredes internas metálicas e uma pequena abertura para a passagem de radiação, conforme ilustrado na figura 3 a seguir. A caixa deve ser revestida com um excelente isolante térmico e espelhada externamente, refletindo toda a radiação incidente, exceto na abertura. A radiação que penetra na cavidade tem uma probabilidade muito pequena de escapar, permanecendo no interior, sendo espalhada pelas paredes até atingir o equilíbrio térmico. Desta forma, aproximamos que toda a radiação incidente é absorvida pelo corpo (Stuart, 2000).

Figura 20 - Representação esquemática de um corpo negro.



Fonte: Retirado de Stuart (2000, p. 524).

A distribuição de energia em um corpo negro foi estudada considerando a termodinâmica, a teoria eletromagnética e a mecânica estatística, mas seguiu sem solução. A *Lei do deslocamento de Wien*, proposta pelo físico Wilhelm Wien em

1896, foi uma tentativa da Física Clássica de explicar os fenômenos relacionados à radiação térmica. A lei descreve a relação entre a temperatura de um corpo negro e o comprimento de onda no qual a emissão de radiação é máxima, sendo fundamental para a compreensão do comportamento da radiação térmica e amplamente aplicada em astrofísica e em estudos sobre radiação térmica.

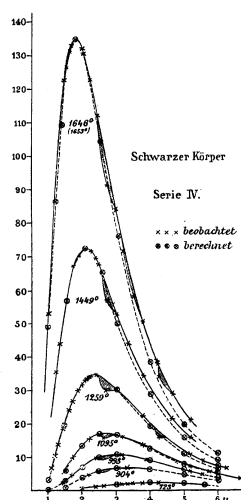
A origem do nome "lei de deslocamento" para apelidar a Lei de Wien deve-se ao fato de que o comprimento de onda, no qual a intensidade de radiação é máxima, varia com a temperatura de acordo com a relação (3.4) a seguir. Na equação, λ representa o comprimento de onda com maior emissão, T é a temperatura e b representa uma constante.

$$\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = b \quad \text{ou} \quad \lambda_{m\acute{a}x} \propto \frac{1}{T} \quad (3.4)$$

A equação (3.4) foi verificada experimentalmente inúmeras vezes, destacando os trabalhos do grupo de Friedrich Paschen (1865-1974) e do grupo de Otto Lummer (1860-1925) e seus colegas de laboratório: Ernst Pringsheim (1859-1917), Heinrich Rubens (1865-1922) e Ferdinand Kurlbaum (1857-1927).

O gráfico obtido por Lummer e Pringsheim em novembro de 1899 pode ser visto na figura 4 a seguir e apresenta a intensidade espectral como função do comprimento de onda (Studart, 2000).

Figura 21 - Gráfico histórico da Intensidade espectral como função do comprimento de onda.



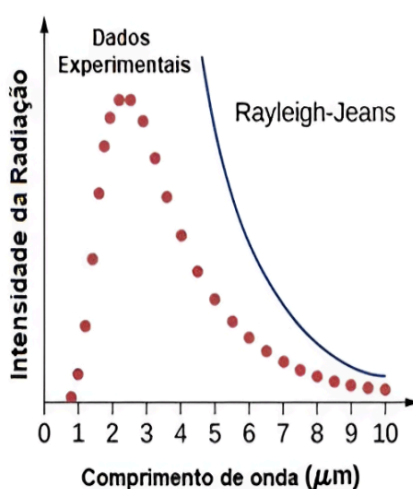
Fonte: Retirado de Studart (2000, p. 526).

O problema é que outros estudos subsequentes, com mais dados coletados, demonstraram que a Lei de deslocamento falhava para comprimentos de onda longos - baixas frequências - em uma ampla faixa de temperaturas (Stuart, 2000).

Outra equação historicamente importante é a proposta no modelo de Lord Rayleigh (John William Strutt, 1842-1919), publicada em uma curta nota em junho de 1900. A lei de radiação de Rayleigh é conhecida como lei de Rayleigh-Jeans, após a contribuição de James Jeans (1877-1946), em maio de 1905.

A Lei de Rayleigh-Jeans funciona bem em baixas frequências, mas falha no limite de grandes frequências, pois a intensidade seria infinita na região ultravioleta. Este fato ficou conhecido como “catástrofe do ultravioleta”, graças a Paul Ehrenfest (1880-1933). Na figura 5 a seguir podemos ver a discrepância entre os dados experimentais e equação proposta por Rayleigh-Jeans.

Figura 22 - Gráfico dos pontos experimentais (pontos vermelhos) e da previsão teórica da Física Clássica - Rayleigh e Jeans (linha sólida azul).



Fonte: Disponível em:

https://phys.libretexts.org/@api/deki/files/15627/CNX_UPhysics_39_01_rayleigh.jpg?revision=1.
Acesso em: 9 de julho de 2024.

A distribuição da energia da radiação térmica entre as diversas frequências já havia sido medida com precisão. No entanto, nenhuma teoria existente até então foi capaz de explicar adequadamente os resultados obtidos. Foi Max Planck quem, ao introduzir a quantização da energia por meio de artifícios matemáticos, conseguiu fornecer uma solução inicial para o problema, abrindo caminho para o desenvolvimento da Física Quântica. Mesmo que a abordagem de Planck tenha sido

inicialmente uma solução matemática, ela lançou as bases para uma nova compreensão dos fenômenos envolvendo radiação térmica.

Planck e o início da quantização da energia

Os primeiros trabalhos sobre a quantização da energia foram apresentados por Planck perante a Academia Alemã de Física, em 1900. Na primeira comunicação, Planck propôs uma nova fórmula para a distribuição espectral da radiação de corpo negro. Na segunda, introduziu a hipótese de quantização da energia, utilizando um método não-ortodoxo inspirado pelas ideias da mecânica estatística de Ludwig Boltzmann (1844-1906) (Studart, 2000).

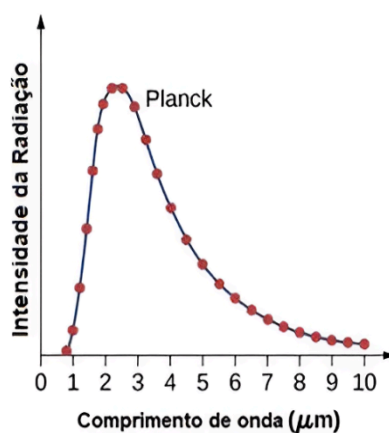
Ele apresentou o artigo “Sobre a Teoria da Lei da Distribuição de Energia no Espectro Normal”, no qual tentou explicar as propriedades observadas da radiação térmica. Planck sugeriu que os osciladores harmônicos na superfície de um corpo negro possuem valores específicos de energia, expressos pela equação (3.5) a seguir, onde n é o número quântico inteiro, h é a constante de Planck, e f é a frequência do oscilador (Eisberg, Resnick, 1979).

$$E = n.h.f \quad (3.5)$$

Planck apresentou essa teoria audaciosa, que conflitava com a Física Clássica, considerando que osciladores harmônicos simples só podiam ter determinados valores discretos de energia. Inicialmente, essa solução apareceu como um mero artifício matemático utilizado por Planck, sem uma intenção conceitual explícita de quantização da energia. O físico, ao resolver o problema, afirmou que “após algumas semanas do mais extenuante trabalho da minha vida, a escuridão se desfez e uma inesperada vista começou a surgir” (Studart, 2000, p. 524).

A proposta de Planck mostrou-se coerente com os dados experimentais da época, como ilustrado na Figura 6. Ao dividir a energia em "quanta", ele conseguiu explicar a distribuição da radiação térmica, que até então não era adequadamente descrita pelas teorias clássicas. Esse avanço consolidou sua proposta e forneceu uma base experimental sólida para o que viria a ser um dos pilares da Física Quântica.

Figura 23 - Resultado teórico de Planck (curva contínua) e curva experimental de radiação do corpo negro (pontos).



Fonte: Disponível em:

["https://phys.libretexts.org/@api/deki/files/15625/CNX_UPhysics_39_01_planck.jpg?revision=1"](https://phys.libretexts.org/@api/deki/files/15625/CNX_UPhysics_39_01_planck.jpg?revision=1).

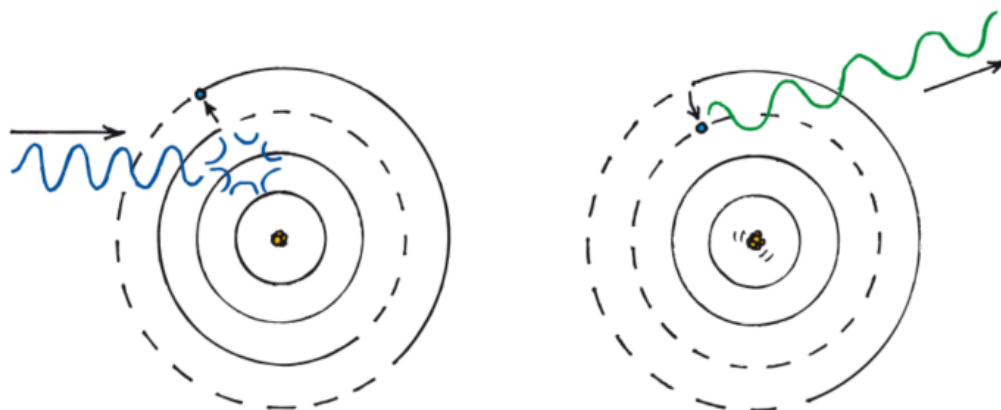
Acesso em: 9 de julho de 2024.

No contexto da radiação do corpo negro, Planck formulou sua hipótese ao considerar que matéria e radiação interagem e atingem o equilíbrio termodinâmico por meio da troca discreta de energia, o que levou à introdução da quantização da energia (Studart, 2000).

1913 e o novo modelo para a Matéria de Bohr

Segundo Eisberg e Resnick (1979), foi o problema da instabilidade do átomo que levou Niels Bohr, em 1913, a propor seu modelo atômico. Ele obteve seu doutorado em 1911 e trabalhou inicialmente no laboratório de J. J. Thomson - descobridor do elétron - no Trinity College, Cambridge, e foi orientando de Ernest Rutherford na Universidade de Manchester. Rutherford havia descoberto o núcleo atômico, o que levou Bohr a incorporar princípios quânticos ao modelo atômico. Em 1913, Bohr propõe que os elétrons se movem em órbitas definidas ao redor do núcleo (Figura 8) e emitem ou absorvem luz ao saltarem entre essas órbitas. Esse modelo explicou as linhas espectrais do hidrogênio e outras séries.

Figura 24 - Modelo de camadas do átomo de Bohr representando os processos de absorção (esq.) e emissão (dir.).



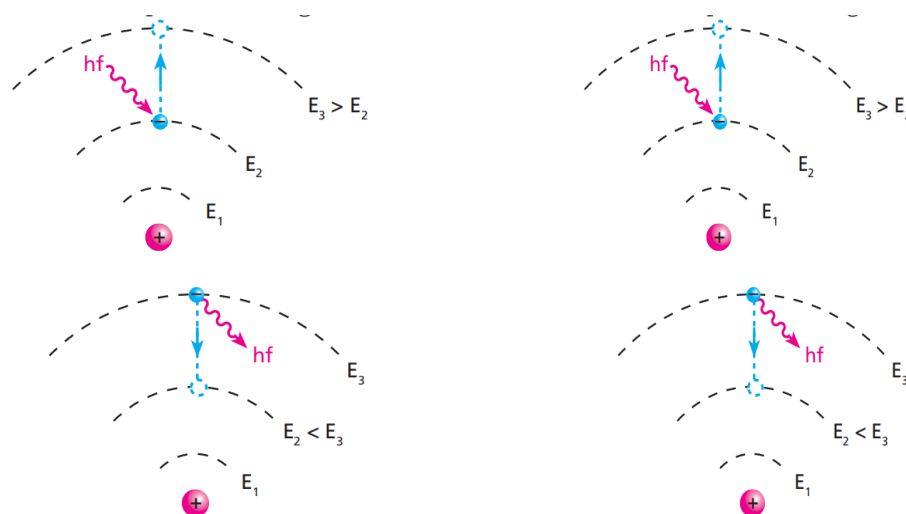
Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 570).

Bohr postulou que, para a eletrosfera de um átomo manter-se estável, os elétrons desse átomo só podem ocupar determinados níveis de energia, denominados estados estacionários ou quânticos. Cada um desses estados corresponde a uma energia específica. Em seu modelo, Bohr propôs que, em um estado estacionário, o átomo não emite radiação. Assim, sua eletrosfera mantém-se estável.

Além disso, o estado estacionário no qual os elétrons estão nos níveis mais baixos de energia é chamado de estado fundamental. Os demais estados permitidos são denominados estados excitados. Somente o estado fundamental e os estados excitados bem definidos são permitidos; qualquer outro estado é proibido (Biscuola, Doca, Villas Bôas, 2012).

Bohr também postulou que, quando um elétron passa de um estado estacionário para outro, ele emite ou absorve um *quantum* de energia igual à diferença entre as energias desses estados, o chamado Salto quântico - ilustrado na figura 9.

Figura 25 - (esq.) Elétron absorvendo um *quantum* de Energia $h.f$ e mudando para um estado mais externo. (dir.) Elétron emite um *quantum* de energia $h.f$ ao retornar para seu estado.



Fonte: Retirado de Biscuola, Doca, Villas Bôas (2012, p.348).

LEITURA COMPLEMENTAR:

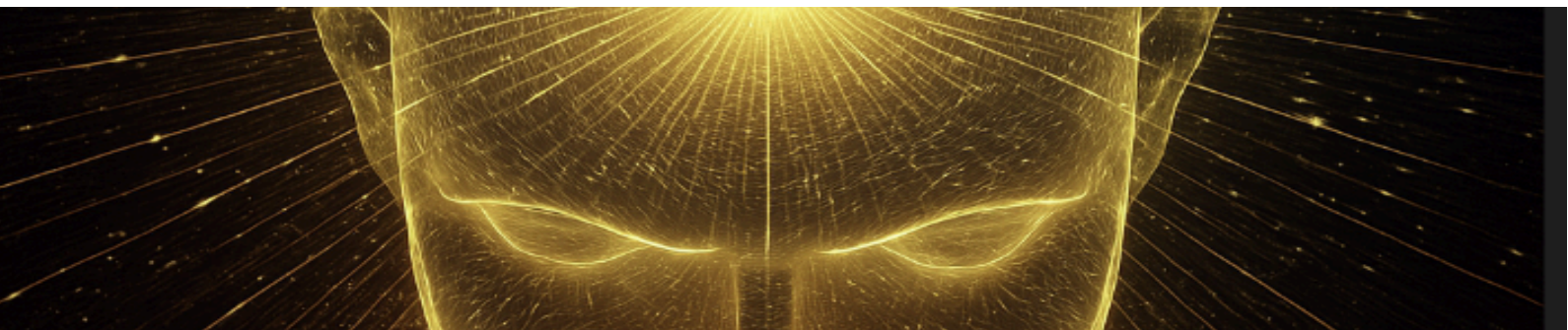
Para aprofundar nos estudos sobre o “Salto Quântico” e sua melhor compreensão e interpretação, indicamos o artigo do Pergunte ao CREF:

<https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=salto-quantico>



AULA #5

O Uso do "Salto Quântico" na Pseudociência



Objetivos da Aula:

- Diferenciar ciência de pseudociência, analisando como conceitos científicos são distorcidos para criar discursos pseudocientíficos.
- Investigar o uso indevido do termo "salto quântico" em contextos pseudocientíficos.
- Desenvolver estratégias para identificar textos pseudocientíficos e promover o pensamento crítico.

Recursos necessários:

- Computadores ou celulares com acesso à internet (para pesquisa sobre pseudociência e salto quântico).
- Projetor ou TV multimídia (para exibição de imagens e sites analisados).

Introdução à Aula – O que é Pseudociência? (20 minutos)

Instruções:

1. Faça perguntas iniciais aos estudantes: "Já ouviram falar no termo pseudociência?", "O que a diferencia da ciência?", "Como é possível distinguir?"
2. Anote algumas respostas no quadro e vá discutindo com os estudantes.
3. Apresente estratégias para identificar pseudociência.

4. Dê exemplos reais, como "cura quântica", e peça que os estudantes identifiquem características pseudocientíficas.
5. O exemplo a seguir pode servir de exemplo para identificar elementos de pseudociência.

Figura 26 - Exemplo de pseudociência quântica.

Salto Quântico na sua vida

Olá pessoal.

Hoje vamos falar sobre o Salto Quântico na sua vida!

O Salto Quântico é um conceito da física quântica criado por Niels Bohr em 1913, que ocorre quando se excita um átomo, ou seja, dá-se energia e ele, promovendo movimentos nos elétrons que se afastam do núcleo saltando de nível. Ex nível 1 para nível 2, nível 2 para nível 4.

O mais interessante é que os elétrons saltam de forma descontínua, ou seja, eles simplesmente desaparecem de uma órbita e aparecem em outra, sem ter estado no espaço existente entre elas!

Podemos observar que não há uma trajetória contínua para ocorrer o salto. E como tudo isso pode influenciar o nosso dia a dia?

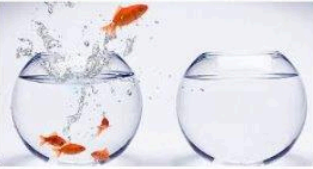
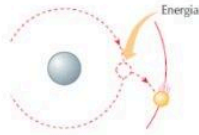
Quando estamos agindo no mundo condicionados a nossa identidade, ao nosso ego, agimos de forma cartesiana, contínua, causal... Achamos que fazemos escolhas, mas na verdade optamos apenas dentro de um conjunto de ações já condicionadas pelas nossas crenças e verdades ensinadas ao longo das nossas vidas.

O salto quântico pode ajudar você a obter vários resultados na sua vida, como melhorar um relacionamento, emagrecer, fazer uma equipe funcionar melhor, conquistar mais saúde.

Para dar um salto quântico, você deve sair do condicionamento da sua mente, utilizando qualquer recurso (energia adicionada a você) que promova essa mudança. Exemplo: meditação, leitura que um livro, buscar conhecimento, tratamento do corpo físico e emocional.

Quando o indivíduo recebe essa "energia externa" que o motiva a saltar na vida, ocorre uma mudança de percepção recriando a sua realidade!

Einstein dizia: "loucura é fazer hoje o mesmo que se fez ontem e querer que o amanhã seja diferente." Portanto, para recriarmos nossa vida, precisamos fazer uso

desta descontinuidade quântica. Da verdadeira Criatividade!

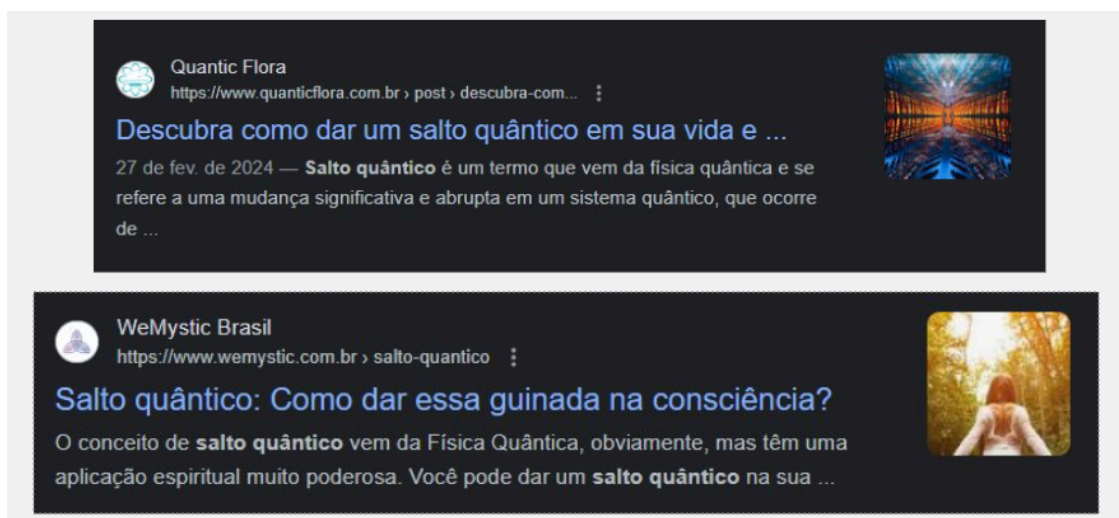
Fonte: autor

Pesquisa sobre "Salto Quântico" (15 minutos)

Instruções:

1. Divida os estudantes em pares e peça que pesquisem no Google (ou outro buscador) o termo "salto quântico" usando seus celulares.
2. Cada dupla deve anotar os três primeiros resultados e classificá-los como:
 - Científico (se apresenta embasamento teórico correto).
 - Pseudocientífico (se usa linguagem científica de forma incorreta para sustentar alegações sem fundamento).

Figura 32 - Exemplos de sites encontrados ao pesquisarmos “salto quântico” na ferramenta de busca Google.



Fonte: Autor.

3. Pergunte aos estudantes:

- O que apareceu nas pesquisas de cada um?
- O Google apresentou o mesmo tipo de informação para todos?
- Por que alguns estudantes receberam mais resultados pseudocientíficos do que outros?

4. Peça que os estudantes compartilhem exemplos reais de pseudociência que já encontraram no dia a dia.

- Como a desinformação científica pode impactar a vida das pessoas?
- Como podemos ajudar a combater esse tipo de desinformação?

5. Incentive os estudantes a discutirem o papel da educação científica na formação de cidadãos críticos.

 Sugestões para aplicação da atividade::

- Explique que os algoritmos de busca personalizam os resultados de acordo com o perfil do usuário, o que pode reforçar crenças pré-existentes e dificultar o acesso à ciência.
- Reforce que a pseudociência pode ter consequências reais, como tratamentos ineficazes e perda de dinheiro.

Resumo da Aula

📌 Conteúdos abordados:

- Conceitual: O que é pseudociência? Como identificar textos pseudocientíficos? O uso do termo "salto quântico" fora do contexto científico.
- Procedimental: Pesquisa sobre pseudociência, análise de sites, produção de resumos críticos.
- Atitudinal: Trabalho em pares, desenvolvimento do pensamento crítico.

📌 Estratégias didáticas:

- Investigação online sobre salto quântico e pseudociência.
- Discussão sobre o impacto da desinformação científica.
- Produção de um portfólio coletivo sobre pseudociência.

📌 Sugestão de Avaliação:

- Participação na pesquisa online e discussão.
- Clareza na análise crítica sobre pseudociência.
- Qualidade das contribuições.

LEITURA COMPLEMENTAR:

- E-book “Desconstruindo o Charlatanismo Quântico”, elaborado pelo estudante Styves Barros Miranda e pela Professora Doutora Rafaelle da Silva Souza. A cartilha apresenta, em linguagem acessível e apropriada para o ensino básico (Fundamental e Médio), os conceitos básicos da Física Quântica e orientações para identificar usos indevidos e pseudocientíficos dessa área do conhecimento.

Link: [Desconstruindo o charlatanismo quântico.pdf](#)



LEITURA COMPLEMENTAR:

- Para aprofundar o entendimento sobre o fenômeno cultural do *misticismo quântico*, recomendamos a leitura do artigo de **Márcia Tiemi Saito**, intitulado “*O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação*”. O artigo discute como o termo "quântico" tem sido amplamente difundido em contextos não científicos, gerando confusão conceitual e desafios para a Educação Científica.

Disponível em: [O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação](#)

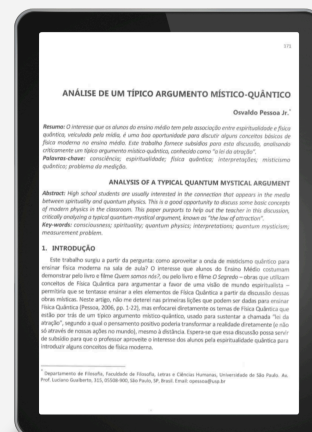


LEITURA COMPLEMENTAR:

- Outra sugestão de leitura é o artigo de **Oswaldo Pessoa Jr.**, intitulado “*Análise de um Típico Argumento Místico-Quântico*”. O autor examina criticamente a associação entre espiritualidade e Física Quântica, amplamente difundida pela mídia, utilizando como exemplo a chamada “lei da atração”.

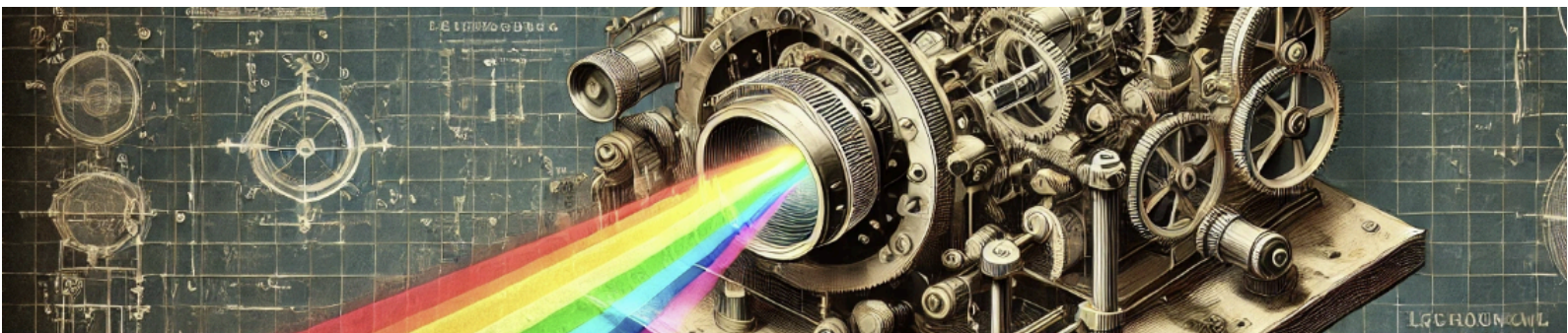
Disponível em:

<https://opessoa.fflch.usp.br/textos>



AULA #6

Construção e Uso de um Espectrógrafo Caseiro



Objetivos da Aula:

- Compreender o funcionamento de um espectrógrafo e sua aplicação na separação de espectros de luz.
- Relacionar a análise espectral com os conceitos de salto quântico, emissão e absorção de luz discutidos anteriormente.
- Construir e utilizar um espectrógrafo caseiro para celular, registrando espectros de diferentes fontes de luz.
- Desenvolver habilidades experimentais e incentivar o trabalho colaborativo.

Recursos necessários:

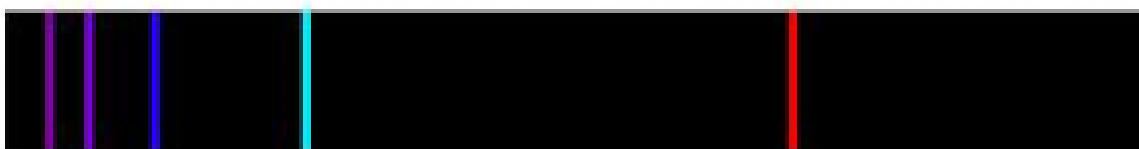
- Molde impresso do espectrógrafo (disponível no APÊNDICE).
- Papel preto/cartolina preta.
- CD ou DVD usado (para ser utilizado como grade de difração).
- Fita adesiva e tesoura.
- Celulares ou câmeras (para captura dos espectros).
- Fontes de luz variadas: luz branca (fluorescente ou LED), refletores RGB, luz solar indireta.
- Projetor ou TV multimídia (para introdução teórica e apresentação de espectros).

Introdução à Aula – O que é um Espectrógrafo? (10 minutos)

Instruções:

1. Projete no quadro a pergunta: "O que podemos descobrir ao analisar a luz?" e peça que os estudantes deem respostas.
2. Explique que um espectrógrafo é um equipamento utilizado para separar a luz em suas diferentes cores ou comprimentos de onda.
3. Mostre exemplos reais de espectros de diferentes fontes de luz, incluindo:
 - Espectro contínuo (exemplo: luz do Sol).
 - Espectro de emissão (exemplo: hidrogênio).
 - Espectro de absorção (exemplo: atmosferas estelares).

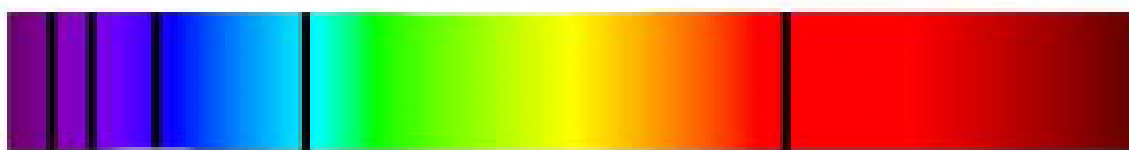
Figura - Espectro de emissão do átomo de hidrogênio.



Fonte: disponível em

<http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/108/19.-Espectros-de-emissao-e-absorcao>

Figura - Espectro de absorção do átomo de hidrogênio.

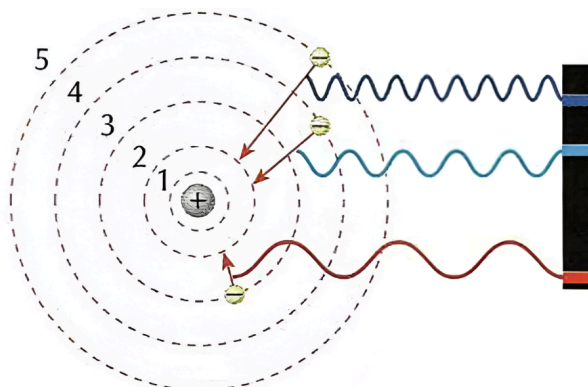


Fonte: disponível em

<http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/108/19.-Espectros-de-emissao-e-absorcao>

4. Relacione o experimento com o salto quântico e as transições eletrônicas discutidas anteriormente.

Figura 27 - Três dos possíveis saltos quânticos de um elétron no átomo de hidrogênio, evidenciando a relação com os espectros.



Fonte: <https://www.slideshare.net/newtondasilva/aula-4-modelo-atmico-de-bohr>

Construção do Espectrógrafo Caseiro (20 minutos)

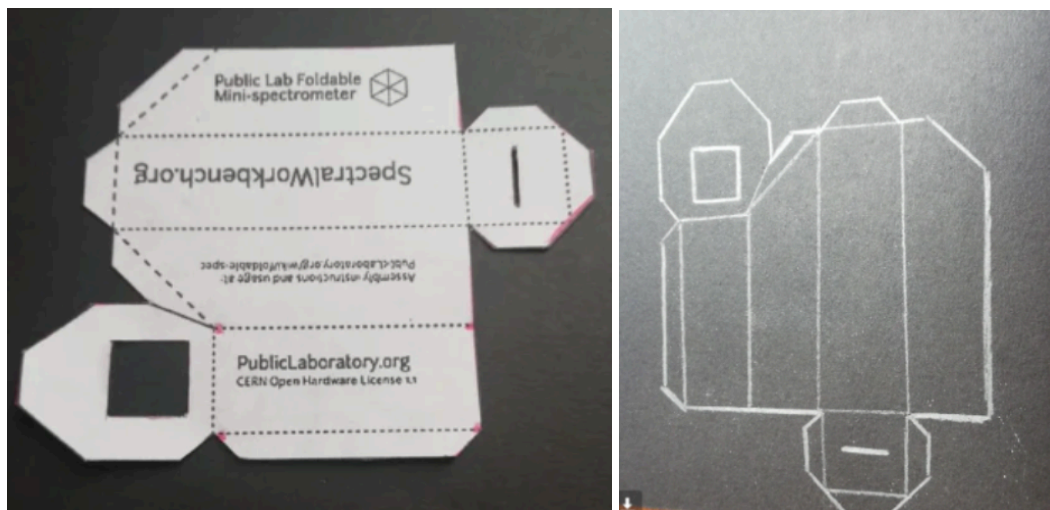
Instruções:

1. Distribua o molde impresso do espectrógrafo (disponível no APÊNDICE).
2. Explique os componentes do espectrógrafo e como ele funciona:
 - O CD/DVD atua como uma grade de difração, separando a luz em diferentes comprimentos de onda.
 - A fenda de entrada da luz permite direcionar melhor a luz incidente.
 - O celular será utilizado para capturar e registrar o espectro formado.
3. Oriente os estudantes na montagem do espectrógrafo:
 - Recortar o molde e montar a estrutura com fita adesiva.
 - Posicionar o pedaço de CD/DVD corretamente.
 - Fixar o espectrógrafo na câmera do celular.



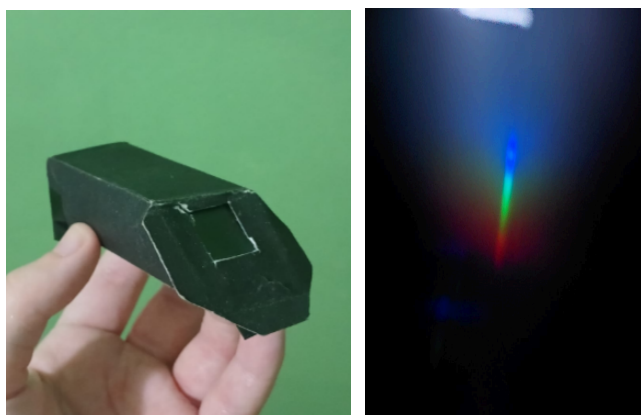
4. Circule pela sala, auxiliando os grupos na construção e garantindo que todos tenham um espectrógrafo funcional ao final da atividade.

Figura 28 - Molde para construção do espectrógrafo.




Fonte: Autor

Figura 29 - (esq.) Espectrógrafo construído conforme o modelo fornecido. (dir.) Espectro da luz branca emitida por uma lâmpada fluorescente.



Fonte: Autor

 Sugestões para aplicação da atividade:

- Se houver tempo limitado, prepare alguns espectrógrafos montados previamente para demonstrar o funcionamento antes da construção pelos estudantes.
- **VÍDEO** explicando a montagem:
 -  [Montagem de espectroscópio para câmera de smart...](#)



Observação e Registro dos Espectros (15 minutos)

Instruções:

1. Os estudantes devem utilizar seus espectrógrafos acoplados ao celular para analisar diferentes fontes de luz:
 - Luz branca fluorescente.
 - Luz LED.
 - Refletores RGB (alternando as cores para observar espectros individuais).
 - Luz do Sol (indireta, para evitar danos aos olhos ou ao celular).
2. Peça que os estudantes fotografem ou filmem os espectros obtidos e comparem os resultados.
3. Discuta em grupo:
 - Os espectros observados são diferentes para cada fonte de luz?
 - Qual a relação entre os espectros e os diferentes elementos químicos?
 - Como esse experimento se relaciona com os conceitos de salto quântico e quantização da energia?

 Sugestões para aplicação da atividade:

- Se possível, peça que alguns estudantes compartilhem suas fotos/vídeos no projetor para comparação coletiva.
- Reforce que a análise espectral é uma ferramenta crucial na ciência, sendo utilizada na astronomia, química e física aplicada.

Produção do Relatório Experimental (5 minutos)

Instruções:

1. Distribua o Roteiro da Construção do Espectrógrafo (APÊNDICE).
 2. Cada grupo deverá produzir um relatório experimental.
 3. Peça que cada grupo responda às perguntas:
 - Como foi o processo de construção do espectrógrafo?
 - Quais diferenças foram observadas nos espectros das diferentes fontes de luz?
 - O que os resultados revelam sobre a composição da luz?
-

- Como os conceitos de quantização de energia e transições eletrônicas ajudam a explicar os espectros obtidos?
4. Os relatórios podem ser entregues na aula seguinte.

Resumo da Aula

Conteúdos abordados:

- Conceitual: Espectros de luz, espectro de emissão e absorção, quantização da energia.
- Procedimental: Construção do espectrógrafo, observação e registro de espectros.
- Atitudinal: Trabalho em pares, desenvolvimento do pensamento investigativo.

Estratégias didáticas:

- Construção experimental de um espectrógrafo caseiro.
- Observação prática dos espectros de luz.
- Análise crítica e produção de relatório.

Sugestão de Avaliação:

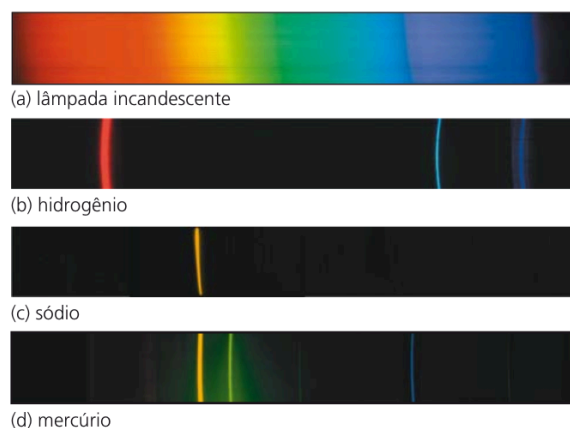
- Avaliação da montagem correta do espectrógrafo e sua funcionalidade.
- Qualidade das observações registradas.
- Clareza na explicação da relação entre espectros e quantização da energia.

MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA USO DOCENTE:

Espectrógrafo e estudo dos espectros

Vamos entender melhor o que são as linhas espectrais, que também foram mencionadas como fontes de investigação no tópico anterior. Cada elemento químico possui um padrão único de níveis de energia eletrônicos, o que faz com que emita luz com um **espectro de emissão** característico quando excitado. Alguns exemplos de espectros de emissão podem ser vistos na figura 10 a seguir.

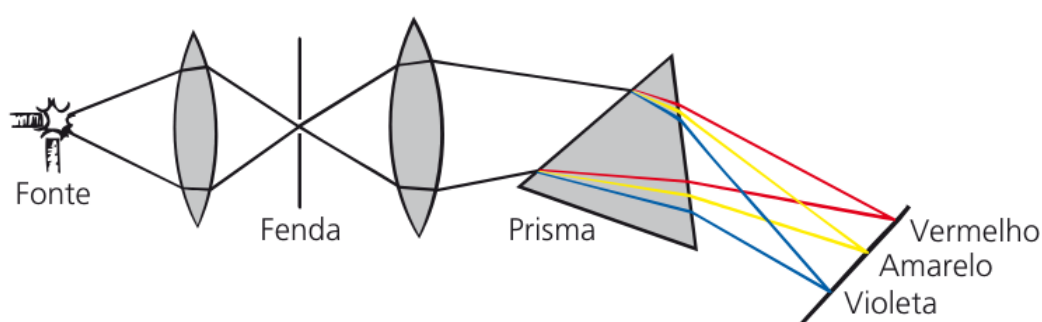
Figura 30 - Espectros de diferentes fontes.



Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 567).

Este padrão é visível ao passar a luz através de um prisma ou rede de difração, especialmente se a luz primeiro atravessar uma fenda estreita e depois for focada através de um prisma sobre uma tela (Hewitt, 2015, p. 566). Este arranjo de fenda, lente de focagem e prisma (ou rede de difração) forma um espectroscópio, um dos instrumentos mais úteis na ciência moderna e que pode ser visto no esquema da figura 11 a seguir.

Figura 31 - Um espectroscópio simples. As imagens da fenda iluminada são projetadas em uma tela, criando um padrão de linhas. O espectro resultante é específico para a luz que ilumina a fenda.



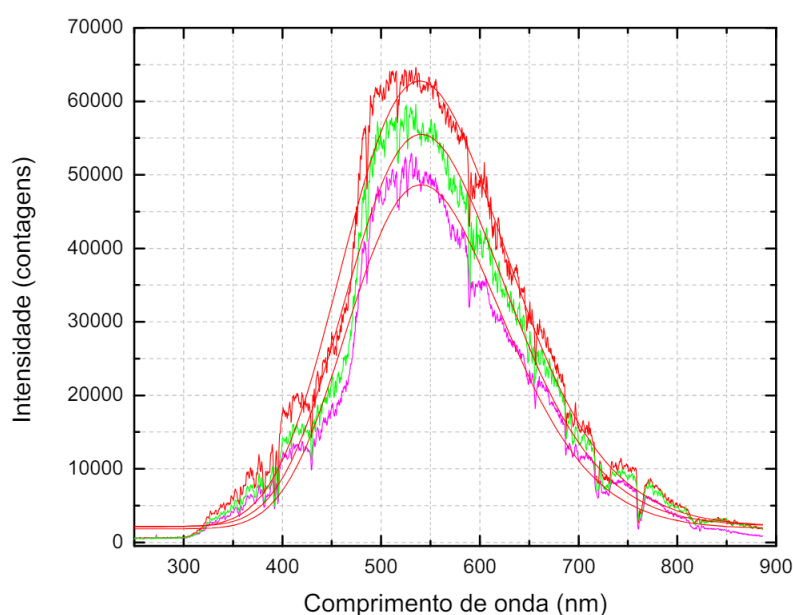
Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 566).

Com a utilização de um espectrógrafo, podemos produzir um gráfico do espectro solar que revela a distribuição da radiação em diferentes comprimentos de onda. Utilizando esse gráfico e aplicando a Lei de Deslocamento de Wien, é possível estimar a temperatura do Sol ao identificar o comprimento de onda no qual ocorre a

emissão máxima de radiação. Dessa forma, a aplicação prática da teoria possibilita a determinação de uma das principais características estelares, como a temperatura da superfície do Sol.

O gráfico apresentado a seguir (figura 12) para o espectro solar foi produzido pelo autor utilizando um espectrógrafo no Laboratório de Física Moderna do IFGW/UNICAMP. No gráfico, três medidas do espectro são exibidas, com a intensidade máxima situada entre 500 nm e 550 nm.

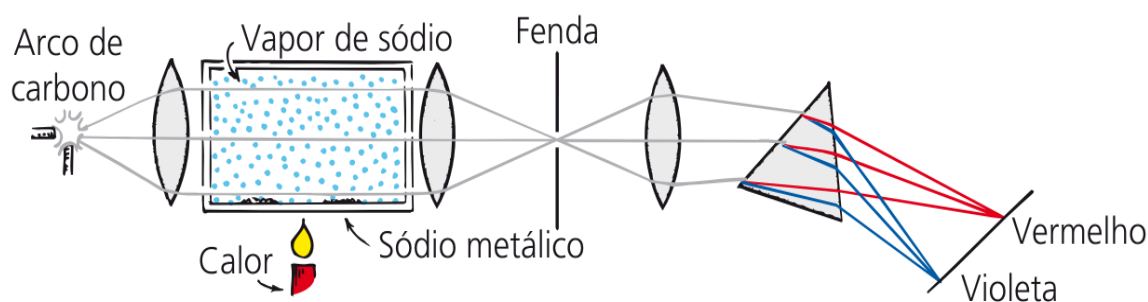
Figura 32 - As três melhores medidas do espectro solar, realizadas às 16h do dia 31/10/2018. As linhas em vermelho são os ajustes utilizando o LogNormal no Origin.



Fonte: Autor.

Quando observamos a luz branca de uma fonte incandescente com um espectroscópio, vemos um espectro contínuo que forma um arco-íris completo de cores. No entanto, se colocarmos um gás entre a fonte e o espectroscópio, um exame cuidadoso revelará que o espectro não é completamente contínuo. Em vez disso, aparece um **espectro de absorção**, no qual linhas escuras são distribuídas ao longo do espectro. Essas linhas escuras, vistas contra o fundo colorido do arco-íris, são como as linhas de emissão em negativo e são chamadas de linhas de absorção. Um arranjo possível pode ser visto na figura 13 a seguir.

Figura 33 - Um arranjo experimental para demonstrar o espectro de absorção de um gás.

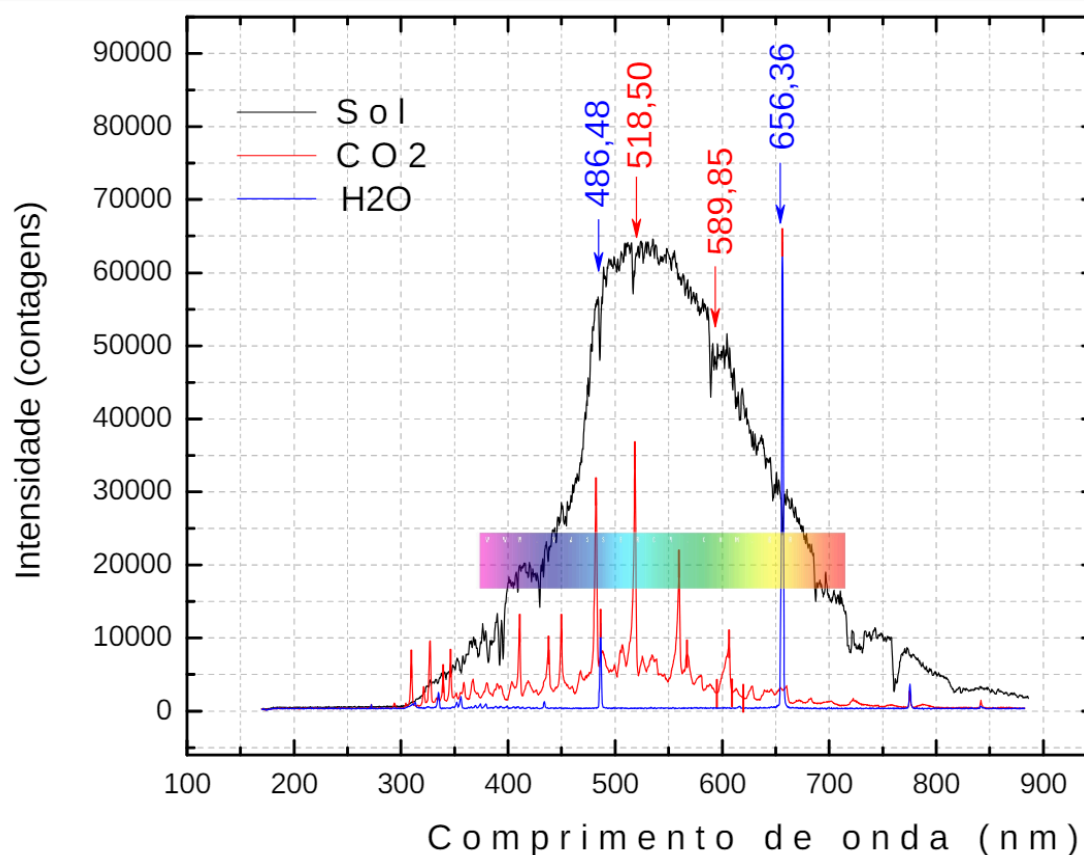


Fonte: Retirado de Hewitt (p.569, 2015).

No espectro observado, essas frequências absorvidas aparecem como linhas escuras, correspondendo exatamente às posições das linhas de emissão do mesmo gás. Embora o Sol seja uma fonte de luz incandescente, seu espectro contém muitas linhas de absorção, chamadas de linhas de Fraunhofer, em homenagem ao óptico e físico Joseph von Fraunhofer. Essas linhas indicam que o Sol e as estrelas possuem uma atmosfera de gases mais frios que absorvem algumas frequências da luz. A análise dessas linhas permite determinar a composição química dessas atmosferas, revelando que os elementos presentes nas estrelas são os mesmos que existem na Terra. Em 1868, análises espectroscópicas do Sol revelaram a existência de hélio, que foi descoberto no Sol antes de ser identificado na Terra (Hewitt, 2015, p.569).

Na figura 14 podemos ver o espectro solar comparado ao espectro visível e com as linhas de absorção do CO_2 e do H_2O . Note que o Sol tem picos negativos correspondente aos comprimentos de onda de 486,48 nm e 656,36 nm, o que significa que o vapor de água presente na atmosfera terrestre absorveu essa energia; os picos negativos do sol correspondente aos comprimentos de onda de 518,50 nm e 589,85 nm significa que o dióxido de carbono presente na atmosfera absorveu a energia desses fótons.

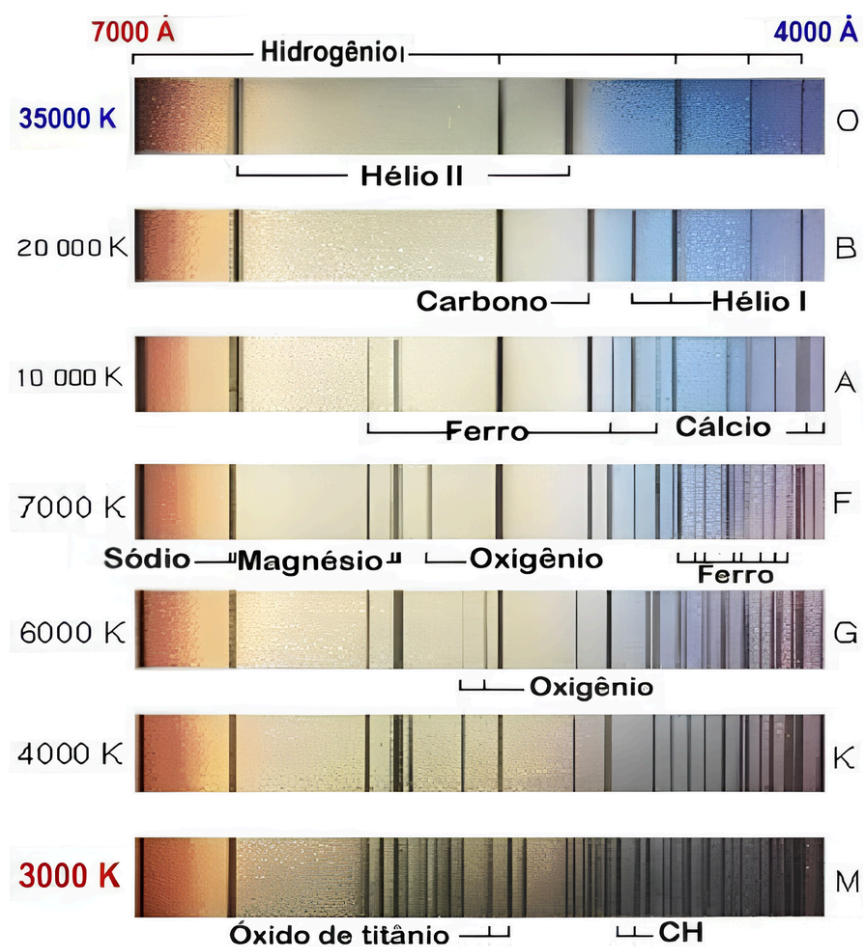
Figura 34 - Em preto: espectro do Sol (16h), em vermelho: espectro do CO₂, em azul: espectro de H₂O, com foque na região do visível.



Fonte: Autor.

O estudo dos espectros, viabilizado pelo uso de espectrógrafos e espectroscópios, é de fundamental importância para a compreensão das propriedades físicas e químicas dos corpos celestes. A análise das linhas espectrais de emissão e absorção permite identificar os elementos presentes em estrelas e atmosferas, revelando informações essenciais sobre sua composição e dinâmica. A precisão dessa metodologia faz do espectro uma "assinatura" única para cada elemento, tornando o estudo espectral uma ferramenta indispensável na astrofísica.

Figura 35 - Espectros em diferentes temperaturas

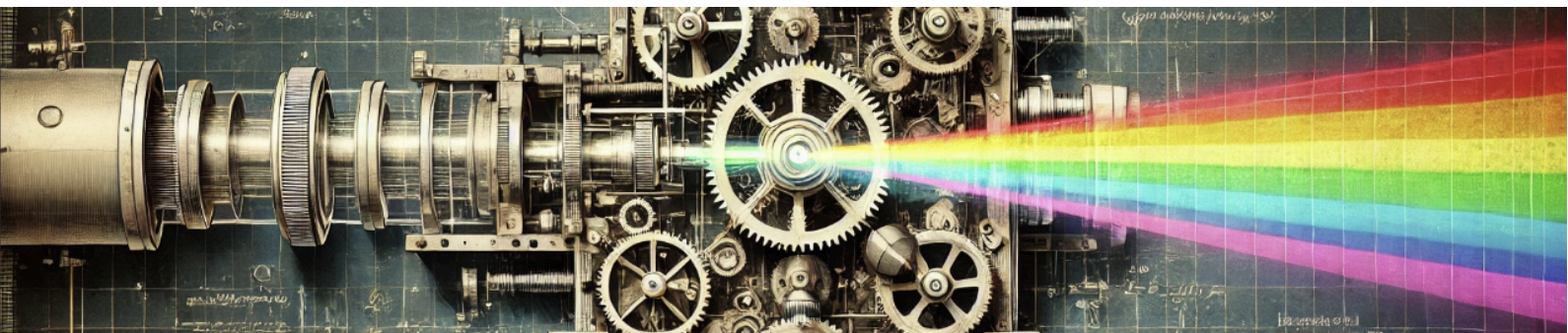


Fonte: disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/fis02001/aulas/Aula17-132.pdf%E2%80%8B>

O estudo dos espectros, viabilizado pelo uso de espectrógrafos e espectroscópios, é de fundamental importância para a compreensão das propriedades físicas e químicas dos corpos celestes. A análise das linhas espectrais de emissão e absorção permite identificar os elementos presentes em estrelas e atmosferas, revelando informações essenciais sobre sua composição e dinâmica. A precisão dessa metodologia faz do espectro uma "assinatura" única para cada elemento, tornando o estudo espectral uma ferramenta indispensável na astrofísica.

AULA #7

Discussão dos Espectros e Aplicações na Ciência



Objetivos da Aula:

- Analisar e discutir os resultados do experimento dos espectros, comparando diferentes fontes de luz.
- Explorar o uso da espectroscopia para identificar elementos químicos.
- Relacionar o experimento com a natureza ondulatória da luz.
- Relacionar a quantização da energia às linhas espectrais dos átomos.
- Apresentar aplicações da espectroscopia na astrofísica e química, incluindo o caso do Sol.

Recursos necessários:

- Projetor ou TV multimídia (para exibição dos espectros observados).
- Microsoft Forms ou questionário impresso (Questionário Pós-Atividade do Espectrógrafo).

Apresentação dos Resultados Experimentais (15 minutos)

Instruções:

1. Projete imagens dos espectros capturados pelos estudantes na aula anterior.
2. Compare os espectros das diferentes fontes de luz utilizadas:
 - Luz branca (fluorescente, LED, RGB).
 - Luz ultravioleta (UV).
 - Fontes de gás (argônio, mercúrio, hidrogênio).

3. Pergunte aos estudantes:

- Quais diferenças e semelhanças vocês observaram entre os espectros?
- Como a luz branca se diferencia da luz emitida por lâmpadas de gás?
- Como a fluorescência e o salto quântico explicam a emissão de determinadas cores?

Espectroscopia e Identificação de Elementos - caso do Sol (15 minutos)

Instruções:

1. Apresente a técnica de espectroscopia, explicando que cada elemento químico possui um "código de barras" espectral único.
2. Relacione o experimento do espectrógrafo com a natureza ondulatória da luz.
3. Mostre espectros reais do hidrogênio, hélio e mercúrio, destacando suas linhas espectrais. As fotos a seguir foram feitas pelo autor no laboratório LF-47 do IFGW no dia 31/10/2018.

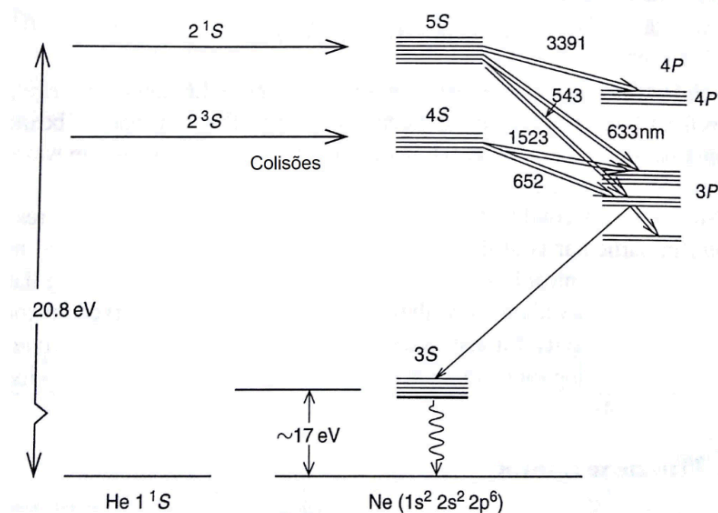
Figura 36 - (esq.) Foto tirada da lâmpada de Argônio e Mercúrio submetida a 5 kV (dir.) Foto tirada da lâmpada de Hidrogênio submetida a 5 kV.



Fonte: Autor

4. Explique sobre as séries (Lyman, Balmer e Paschen), associando-as aos diferentes saltos quânticos no átomo de hidrogênio.

Figura 37 - Níveis de energia do Hélio e Neônio. As principais transições são indicadas por setas duplas. Note que o estado fundamental está em uma energia muito menor.



Fonte: (Eisberg, Resnick, 1979)

5. Relacione a análise espectral com aplicações práticas, como:
 - Identificação de elementos químicos na tabela periódica.
 - Determinação da composição química de estrelas e planetas.
 - Uso da espectroscopia em exames médicos e análises laboratoriais.
6. Mostre como os elementos químicos do Sol foram descobertos através da espectroscopia, incluindo o hélio, identificado antes mesmo de ser encontrado na Terra.
7. Relacione a Lei de Wien com a temperatura das estrelas, usando o exemplo do gráfico gerado no IFGW/UNICAMP.
8. Apresente um espectro do Sol, destacando as linhas de absorção causadas por elementos como hidrogênio, hélio, oxigênio e CO₂.
9. Mostre o gráfico gerado pelo professor para determinar a temperatura do Sol com base na Lei de Wien.
10. Proponha que os estudantes façam o cálculo da temperatura do Sol. Forneça os dados necessários.
11. Pergunte aos estudantes:
 - Como a cor de uma estrela pode indicar sua temperatura?
 - Como a espectroscopia ajuda a entender a formação do universo?

- Por que estrelas mais quentes são azuladas e estrelas mais frias são avermelhadas?

Questionário Pós-Atividade (20 minutos)

Instruções:

1. Distribua o Questionário Pós-Atividade do Espectrógrafo.
2. Dê 20 minutos para os estudantes responderem individualmente às questões, como:
 - Quais diferenças e semelhanças foram observadas entre os espectros das lâmpadas fluorescente, RGB e UV?
 - Como um espectrógrafo funciona?
 - Como a espectroscopia pode ser usada para identificar elementos químicos em estrelas?
 - Qual a relação entre a cor de uma estrela e sua temperatura?

Resumo da Aula

Conteúdos abordados:

- Conceitual: Espectros de luz, linhas espectrais, espectroscopia atômica, séries, Lei de Wien.
- Procedimental: Discussão dos espectros observados, análise da composição dos elementos.
- Atitudinal: Trabalho em pares, reflexão crítica sobre a importância da espectroscopia.

Estratégias didáticas:

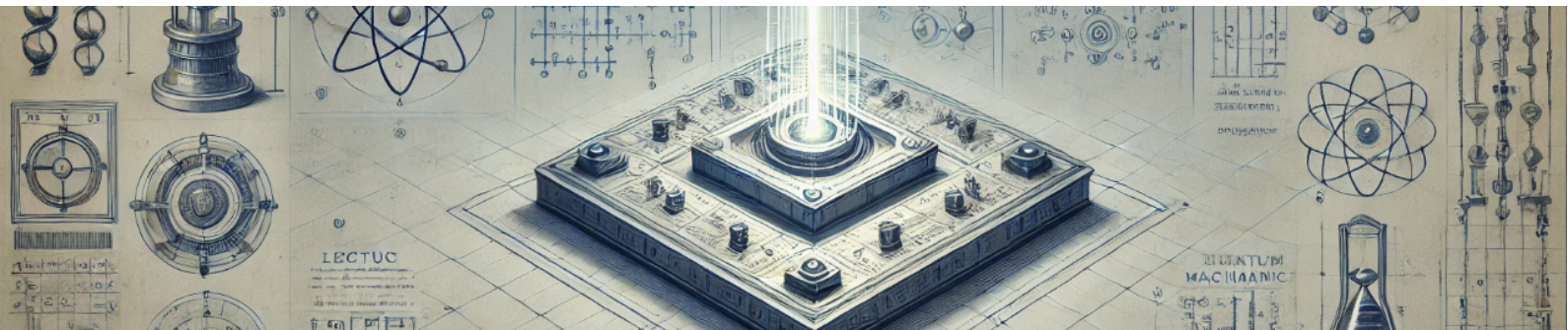
- Análise comparativa de espectros observados pelos estudantes.
- Apresentação de espectros reais de elementos químicos.
- Aplicação da espectroscopia na identificação da composição do Sol.

Sugestão de Avaliação:

- Participação ativa na discussão dos espectros observados.
 - Clareza na interpretação e comparação dos espectros apresentados.
-

AULA #8

Efeito Fotoelétrico



Objetivos da Aula:

- Discutir os limites de aplicação da Física Quântica, diferenciando os regimes clássico e quântico.
- Apresentar o efeito fotoelétrico, suas implicações e a explicação dada por Einstein.
- Desenvolver habilidades matemáticas na resolução de problemas aplicados à teoria quântica.

Recursos necessários:

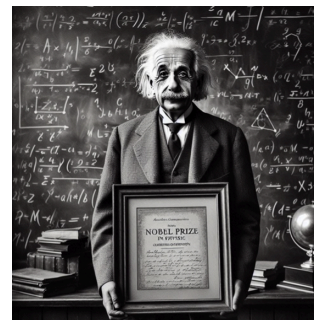
- Projetor ou TV multimídia (para exibição do vídeo e do simulador).
- Simulador PHET – Efeito Fotoelétrico disponível em: [PHET Colorado](#).
- Vídeo “Efeito Fotoelétrico - O Nobel de Einstein”, disponível em: [YouTube - Universo Narrado](#).

Introdução à Aula – O que é o Efeito Fotoelétrico? (20 minutos)

Instruções:

1. Retome o assunto do espectrógrafo e o comportamento ondulatório da luz. Pergunte aos estudantes: "A luz se comporta como partícula?". Faça uma discussão inicial.
2. Apresente o efeito fotoelétrico, descrevendo os experimentos iniciais de Hertz e Stoletov.

3. Apresente o trabalho de Einstein (1905) e como ele explicou o efeito fotoelétrico.
4. Exiba o vídeo [“Efeito Fotoelétrico - O Nobel de Einstein”](#), incentivando os estudantes a anotarem os pontos principais.



 Sugestões para aplicação da atividade:

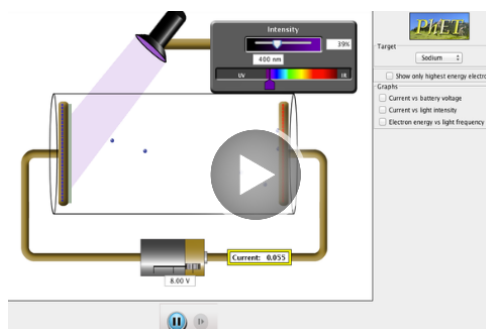
- Relacione o efeito fotoelétrico com aplicações modernas, como células fotovoltaicas, sensores de câmeras digitais e painéis solares.
- Pergunte: "O que aconteceria se tentássemos explicar esse fenômeno apenas com a teoria ondulatória da luz?"

Simulação Interativa do Efeito Fotoelétrico (15 minutos)

Instruções:

1. Acesse e projete o [Simulador PHET – Efeito Fotoelétrico](#).

Figura 38 - Simulador PHET para o efeito fotoelétrico.




Fonte: disponível em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric.

2. Demonstre como modificar:
 - O tipo de material do alvo (sódio, zinco, platina, etc.).
 - A frequência da luz incidente.
 - A intensidade da luz.
3. Peça que os estudantes anotem suas observações ao variar cada parâmetro.
4. Pergunte:

- O que acontece quando usamos luz com frequência abaixo do limite do material?
- Como a intensidade da luz afeta o número de elétrons ejetados?
- Como esse experimento valida a equação de Einstein $E = h\nu - W$?

 Sugestões para aplicação da atividade::

- Explique que o trabalho de saída (W) representa a energia mínima necessária para ejetar um elétron.
- Conecte o fenômeno ao princípio da quantização da energia.
- **VÍDEO** com experimento do Efeito Fotoelétrico:

 Tema 01 - Luz | Experimentos - Efeito fotoelétrico

https://youtu.be/VVka6Mp5vyA?si=3mLeqwpftt_Fc8RX



Discussão guiada e fechamento (15 minutos):

Instruções:

1. Promova uma breve discussão com perguntas como: “O que muda quando aumentamos a intensidade da luz?”, “Por que a frequência é mais importante que a intensidade nesse fenômeno?”, “Quais seriam as limitações da teoria ondulatória nesse caso?”.
2. Finalize com uma recapitulação dos principais conceitos e destaque algumas aplicações do efeito fotoelétrico no cotidiano, como nas células fotovoltaicas e sensores de imagem.

Resumo da Aula


 Conteúdos abordados:

- Conceitual: Efeito fotoelétrico, fótons, quantização da energia, comprimento de onda de de Broglie.
- Procedimental: Exploração do simulador PHET, cálculos do comprimento de onda de partículas.

- Atitudinal: Trabalho em pares, aplicação da teoria a situações concretas.

 Estratégias didáticas:

- Aula expositiva com exemplos históricos e experimentais.
- Exploração interativa do simulador PHET.
- Cálculo do comprimento de onda de de Broglie para diferentes partículas.
- Discussão sobre a transição entre o comportamento clássico e quântico.

 Sugestão de Avaliação:

- Participação na exploração do simulador PHET.
- Precisão nos cálculos do comprimento de onda de de Broglie.
- Capacidade de relacionar os conceitos discutidos com aplicações do cotidiano.

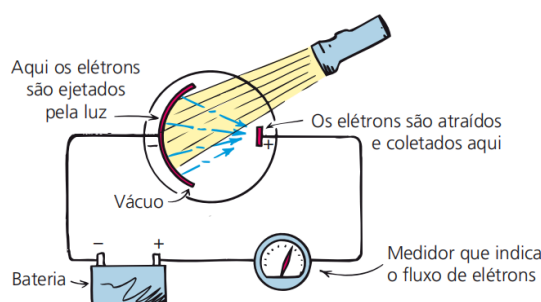
TEXTOS BASE PARA AULA:

1905 e o artigo de Einstein sobre o efeito fotoelétrico

A primeira observação relacionada ao efeito fotoelétrico foi feita pelo físico russo Alexander Stoletov (1839-1896), em 1872. Entre os anos de 1886 e 1887, Heinrich Hertz realizou experimentos que confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e corroboraram a teoria de Maxwell sobre a natureza da luz (Eisberg, Resnick, 1979). Hertz observou experimentalmente que a descarga elétrica entre dois eletrodos era facilitada pela incidência de luz ultravioleta em um deles.

A figura 7 a seguir mostra um esquemático mais atual usado para estudar o efeito fotoelétrico. Uma luz monocromática incide sobre uma placa de metal e libera elétrons, chamados de *fotoelétrons*.

Figura 39 - Um esquema experimental usado para observar e medir o efeito fotoelétrico.



Fonte: Retirado de Hewitt (2015, p. 488).

Eisberg e Resnick (1979) destacam três pontos principais do efeito fotoelétrico que não podem ser explicados pela teoria ondulatória clássica da luz:

i) A energia cinética máxima dos fotoelétrons não depende da intensidade da luz. A teoria ondulatória clássica requer que a amplitude do campo elétrico oscilante E da onda luminosa aumente se a intensidade da luz for aumentada. Isso sugere que a energia cinética dos fotoelétrons deveria também aumentar com o aumento da intensidade do feixe luminoso, porém isso não é observado experimentalmente.

ii) O efeito fotoelétrico só ocorre acima de uma frequência mínima específica, independentemente da intensidade, chamada frequência de corte. De acordo com a teoria ondulatória, o efeito fotoelétrico deveria ocorrer para qualquer frequência de luz, desde que tivesse uma intensidade mínima para ejetar os elétrons. Entretanto, experimentos mostram que, para cada superfície, há um limiar de frequência característico.

iii) Na teoria ondulatória, a energia luminosa está uniformemente distribuída sobre a frente de onda. Portanto, se a luz for suficientemente fraca, deveria haver um intervalo de tempo mensurável entre o instante em que a luz começa a incidir sobre a superfície e a ejeção do fotoelétron. No entanto, a absorção de energia da luz ocorre em uma área limitada e em um tempo muito curto, contrariando a distribuição uniforme esperada. Nenhum retardamento detectável foi medido.

Em 1905 Einstein publica no periódico *Annalen der Physik* o artigo que hoje é conhecido como um estudo sobre o efeito fotoelétrico - emissão pela matéria de elétrons em movimento devido à interação com uma radiação (Martins,Rosa, 2014).

Assim, uma radiação eletromagnética passou a ser tratada como um feixe de partículas denominadas *fótons* propagando-se.

Einstein supôs que a energia de um fóton (quantum) é localizada e que pode ser calculada por:

$$E = h.f \quad (3.6)$$

A equação (3.7) do efeito fotoelétrico relaciona energia cinética máxima ($K_{\text{máx}}$) do fotoelétron emitido com a energia do fóton incidente e uma energia característica do metal chamada *função trabalho* (w_0). A função trabalho é a energia mínima necessária para um elétron “escapar” do metal.

$$K_{\text{máx}} = h.f - w_0 \quad (3.7)$$

Segundo Martins e Rosa (2014, p. 44), Einstein propõe que “[...] a radiação só poderia ser emitida e absorvida pela matéria através de quantidades bem definidas de energia $h.f$ e a própria luz seria constituída por esses *quanta de energia*”. Essa proposta de Einstein pode ser encarada como um modelo corpuscular para a natureza da luz.

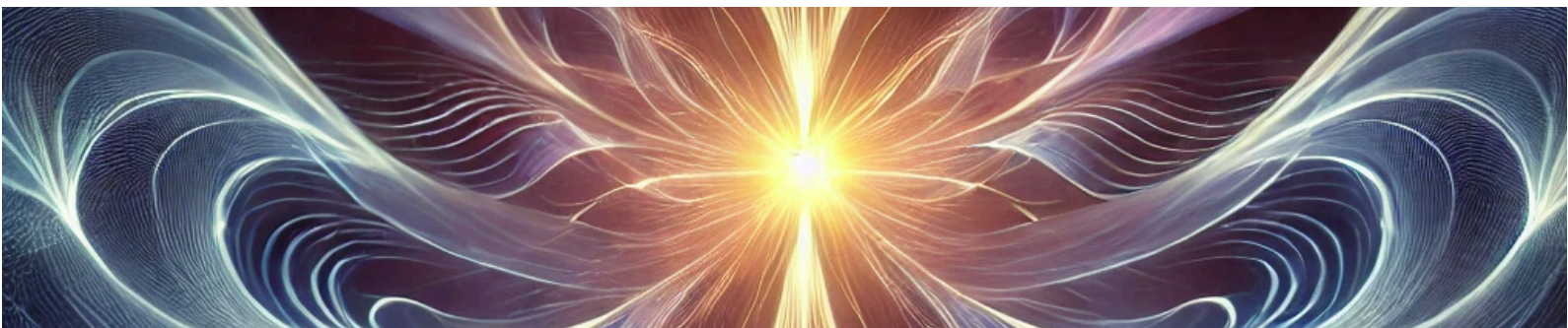
Em 1911, ocorreu o primeiro Congresso Solvay de Física, inteiramente dedicado à questão dos *quanta*. Em 1912, após o congresso, Henri Poincaré publicou trabalhos sobre o assunto, e em 1913, Niels Bohr aplicou essa ideia em sua teoria sobre o átomo (Martins, Rosa, 2014).

Segundo Santos (2018), Robert Andrews Millikan dedicou mais de uma década a experimentos sobre o efeito fotoelétrico e obteve, pela primeira vez, um valor experimental para a constante de Planck. Ele determinou h com uma precisão de aproximadamente 0,5%, valor muito próximo do obtido a partir da fórmula da radiação de Planck. Seu trabalho de 1916, relacionado à medição experimental da constante de Planck no efeito fotoelétrico, foi fundamental para a conquista do Prêmio Nobel de Física em 1923.

Após a confirmação experimental da proposta de Einstein por Millikan, Albert Einstein foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física em 1921, pela explicação teórica do efeito fotoelétrico (Eisberg, Resnick, 1979).

AULA #9

Limites da Teoria Quântica e Dualidade Onda-Partícula



Objetivos da Aula:

- Explorar a dualidade onda-partícula e o Princípio da Complementaridade de Bohr.
- Introduzir o conceito de ondas de matéria de de Broglie e seus limites de aplicação.
- Relacionar os conceitos teóricos com aplicações práticas, como microscopia eletrônica.
- Demonstrar, por meio de cálculos, as diferenças de escala entre o comprimento de onda de partículas subatômicas e objetos macroscópicos.

Recursos necessários:

- Projetor ou TV multimídia (para exibição de imagens e cálculos).

Introdução à Aula – A luz é onda ou partícula? (15 minutos)

Instruções:

1. Recapitule as aulas anteriores, destacando as evidências do comportamento ondulatório e do comportamento corpuscular da luz. Em seguida, escreva no quadro a pergunta: “Afinal, a luz é onda ou partícula?” e proponha que os estudantes debatam suas respostas.
2. Explique que essa foi uma das questões mais intrigantes da Física Moderna e que existem diversas interpretações para esse problema. Uma das

possibilidades de resposta envolve o Princípio da Complementaridade, proposto por Bohr em 1928.

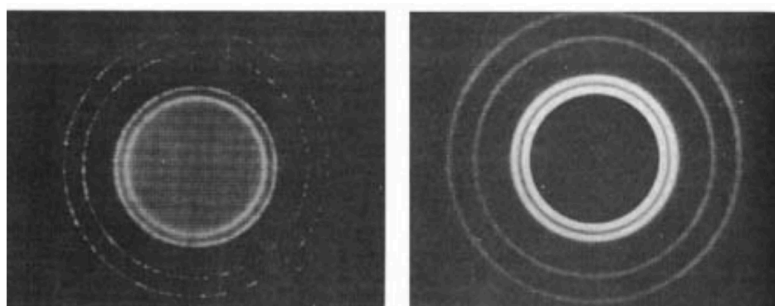
3. Apresente o Princípio da Complementaridade de Bohr, explicando que a luz pode se comportar ora como onda, ora como partícula, dependendo do experimento realizado.
4. Pergunte aos estudantes:
 - Em quais situações a luz se comporta como onda?
 - Em quais situações a luz se comporta como partícula?
 - Esse princípio se aplica apenas à luz ou também a partículas materiais?
5. Relacione a dualidade onda-partícula com os experimentos estudados anteriormente, como efeito fotoelétrico (partícula) e difração e interferência (onda).

Introdução ao Comprimento de Onda de de Broglie (10 minutos)

Instruções:

1. Apresente o questionamento de Louis de Broglie (1924):
 - Se a luz, que é considerada uma onda, pode se comportar como partícula, então partículas materiais também poderiam apresentar características ondulatórias? Explique que Louis de Broglie propôs que toda partícula em movimento tem um comprimento de onda associado.
 2. Explique a equação de de Broglie.
 3. Apresente como exemplo o comprimento de onda de um elétron em movimento. Explique que os elétrons podem exibir padrões de interferência semelhantes aos das ondas eletromagnéticas, confirmando a ideia de ondas de matéria.
 4. Pergunte:
 - "Por que não percebemos o comportamento ondulatório em objetos macroscópicos?"
 - "O que determina se um objeto apresenta efeitos quânticos?"
-

Figura 40 - Figuras de difração para (a) feixe incidente de raios-X, enquanto em (b) temos o feixe composto por elétrons.



Fonte: Castilho et al. (2005, p. 528).

Atividade Prática – Calculando o Comprimento de Onda de de Broglie (20 minutos)

Instruções:

1. Divida os estudantes em pares e forneça a para referência:
 - Massa de um elétron:
 - Velocidade típica de um elétron em um átomo:
2. Proponha que os estudantes calculem o comprimento de onda de de Broglie, apresentando as seguintes situações:
 - “Para entender por que não observamos o comportamento ondulatório de corpos macroscópicos no cotidiano, utilize sua própria massa corporal e estime sua velocidade durante uma corrida leve. **Calcule o comprimento de onda associado.**”
 - “Agora, considere um elétron se movendo a 2% da velocidade da luz. **Calcule o comprimento de onda associado.**”
3. Após os cálculos, discuta os resultados:
 - Qual é a ordem de grandeza do comprimento de onda para cada caso?
 - Por que os elétrons apresentam comportamento ondulatório, enquanto pessoas e objetos grandes não?
 - Como isso está relacionado aos limites de aplicação da Física Quântica?

Conclusão e Reflexão Final (5 minutos)

Instruções:

1. Pergunte:
 - O que aprendemos sobre os limites da Física Quântica?
 - Como esse conhecimento impacta o avanço da ciência e tecnologia?


Resumo da Aula

 Conteúdos abordados:

- Conceitual: Princípio da Complementaridade de Bohr, ondas de matéria de de Broglie, dualidade onda-partícula.
- Procedimental: Cálculo do comprimento de onda de de Broglie para diferentes partículas.
- Atitudinal: Trabalho em pares, reflexão sobre os limites da Física Quântica.

 Estratégias didáticas:

- Pergunta motivadora para estimular a curiosidade dos estudantes.
- Explicação expositiva sobre dualidade onda-partícula e ondas de matéria.
- Cálculos práticos para demonstrar a aplicabilidade da teoria.
- Discussão sobre aplicações tecnológicas da Física Quântica.

 Sugestão de Avaliação:

- Precisão nos cálculos do comprimento de onda de de Broglie.
- Clareza na explicação da dualidade onda-partícula.
- Participação ativa na discussão e reflexão final.

MATERIAL DE REFERÊNCIA PARA USO DOCENTE:

Ondas de matéria de de Broglie

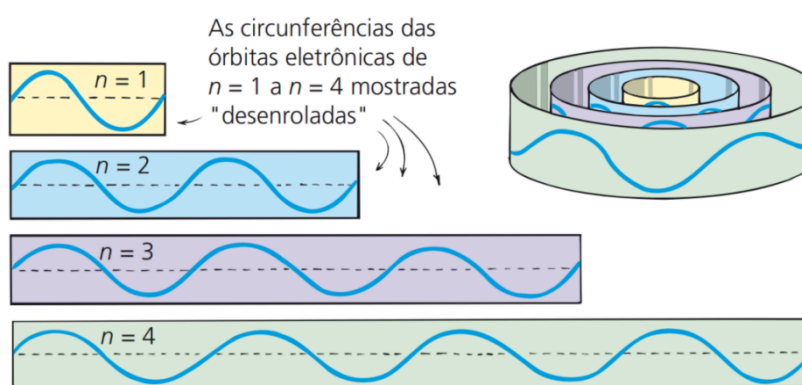
As discussões do físico experimental Maurice de Broglie sobre a natureza corpuscular da luz encantaram seu irmão Louis de Broglie e o inspiraram trocar de carreira, mudando da História para Física. Em 1924, Louis de Broglie publicou sua tese de doutorado na qual apresentou a hipótese das **ondas de matéria**, que

sofrieriam os mesmos fenômenos das outras ondas, como reflexão, difração e interferência. A razão para que o elétron ocupe apenas níveis discretos de energia é compreendida considerando-se que ele se comporte como uma onda, e não como uma partícula (Eisberg, Resnick, 1979).

Segundo Eisberg e Resnick (1979), a hipótese de de Broglie era de que o comportamento dual da radiação também se aplicava à matéria. Ou seja, se um fóton tem uma onda associada, uma partícula material, como um elétron, também tem associada a ela uma onda de matéria que governa seu movimento.

De Broglie demonstrou que os valores discretos dos raios das órbitas de Bohr são uma consequência natural de "ondas de elétrons" estacionárias. Ele mostrou que existe uma órbita de Bohr na qual uma onda eletrônica se fecha sobre si mesma, tornando-se uma onda estacionária, como em uma corda vibrante de um instrumento musical. Nessa visualização, o elétron não é concebido como uma partícula localizada em um ponto específico no interior do átomo, mas como uma onda estacionária ao redor do núcleo atômico, com um número inteiro de comprimentos de onda ajustando-se exatamente às circunferências das órbitas (Hewitt, 2015). Esta ideia do número inteiro de comprimento de onda pode ser exemplificada - de forma simplificada - no esquema da Figura 15 a seguir.

Figura 41 - Esquema simplificado para ilustrar as órbitas eletrônicas de um átomo que possuem raios discretos, porque as suas circunferências são números múltiplos inteiros do comprimento de onda do elétron.



Fonte: Retirado de Hewitt (p.569, 2015).

De Broglie propôs que para qualquer corpo em movimento existe um comprimento de onda λ associado, que depende da massa relativística m e velocidade v . Essa equação - chamada relação de De Broglie - pode ser vista a seguir. Ela calcula o comprimento de onda de De Broglie.

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (3.8)$$

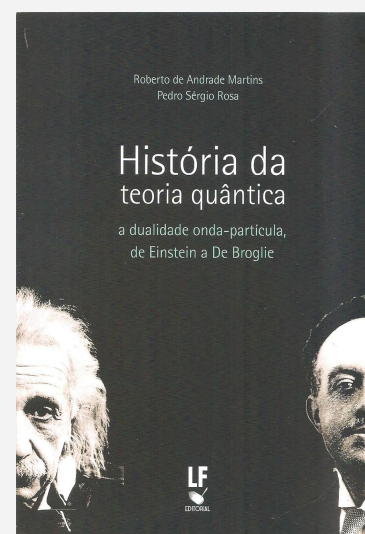
Assim, a cada comprimento de onda de um fóton está associada uma intensidade de sua quantidade de movimento (p). Em 1927, a teoria foi confirmada pela primeira vez em um experimento no qual se determinou o comprimento de onda de elétrons que sofreram difração. Ou seja, foram detectados comportamentos ondulatórios em elétrons (Biscuola, Doca, Villas Bôas, 2012).

Segundo Eisberg e Resnick (1979), essa onda associada à matéria é observada apenas no limite quântico, para corpos muito pequenos. Por exemplo, para um elétron com energia cinética de 100 eV, temos um comprimento de onda $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-10}$ m. Já para uma bola de beisebol, movendo-se a uma velocidade de 10 m/s, o $\lambda = 6,6 \cdot 10^{-35}$ m. Ou seja, para corpos com massas “grandes”, o comprimento de onda associado é extremamente pequeno, o que limita a extensão de aplicação dos conceitos quânticos.

Neste momento a Física Quântica pode parecer confusa devido ao comportamento dual das partículas. Ondas luminosas, que produzem interferência e sofrem difração, entregam energia como “pacotes” corpusculares, os *quanta*. Elétrons, que se movem em linhas retas e colidem como partículas, formam padrões de interferência como ondas. Esse comportamento gera um conflito na explicação da natureza da luz, pois ela parece exibir uma natureza tanto corpuscular quanto ondulatória. Contudo, há uma ordem subjacente: luz e elétrons exibem características de onda e partícula. Niels Bohr formulou a ideia de **complementaridade**, segundo a qual os fenômenos quânticos exibem propriedades complementares (mutuamente exclusivas) – revelando-se como partículas ou como ondas – dependendo do tipo de experimento que esteja sendo realizado, nunca exibindo os dois comportamentos ao mesmo tempo (Biscuola, Doca, Villas Bôas, 2012).

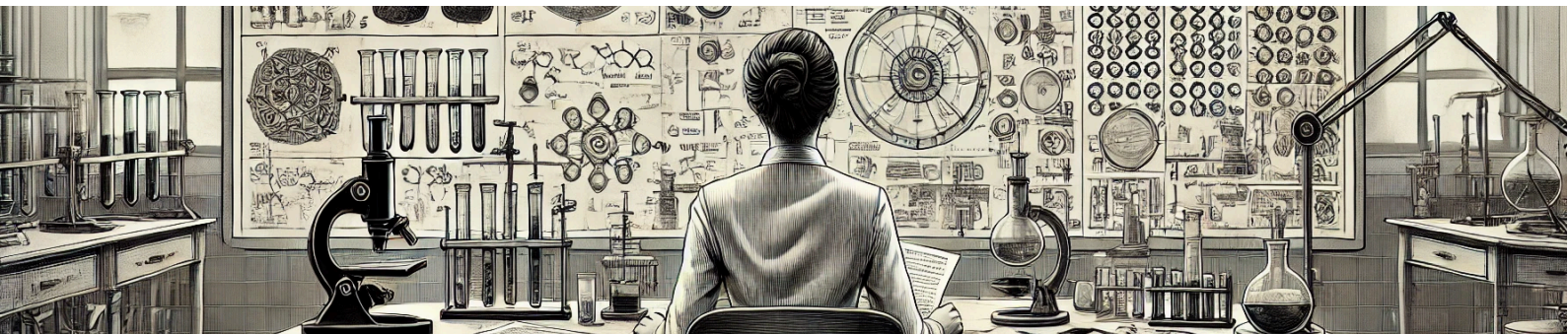
LEITURA COMPLEMENTAR:

Para aprofundar o entendimento histórico e conceitual sobre a dualidade onda-partícula e teoria de de Broglie, recomendamos o livro *História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie*, de **Roberto de Andrade Martins** e **Pedro Sérgio Rosa**. A obra apresenta uma narrativa detalhada sobre o desenvolvimento da Teoria Quântica, excelente recurso para professores interessados em contextualizar historicamente os conteúdos trabalhados em sala de aula.



AULA #10

Reflexão e Questionário Final



Objetivos da Aula:

- Revisar os principais conceitos trabalhados ao longo da sequência didática.
- Avaliar o impacto das atividades no aprendizado e no pensamento crítico dos estudantes.
- Refletir sobre a experiência de ensino e aprendizagem, identificando pontos positivos e aspectos a melhorar.
- Aplicar um questionário final para medir a evolução dos estudantes em relação ao tema.

Recursos necessários:

- Questionário final impresso ou digital (APÊNDICE).
- Quadro ou projetor para organizar a discussão dos pontos positivos e desafios.
- Notas ou registros das atividades anteriores (para auxiliar na reflexão coletiva).

Reflexão sobre o Ensino de Física Quântica (10 minutos)

Instruções:

1. Pergunte à turma: "Vocês acham que Física Quântica deveria ser mais abordada no Ensino Médio? Por quê?"
2. Relacione as respostas com as dificuldades de ensino de Física Moderna no Brasil, explicando que há poucos materiais voltados para professores.

3. Destaque como a Física Quântica se aplica ao dia a dia, reforçando que entender seus princípios pode evitar a disseminação de pseudociências.
4. Pergunte: "Após essa sequência didática, vocês se sentem mais preparados para diferenciar ciência de pseudociência?".
5. Reforce que a Física Quântica não é só uma teoria abstrata, mas uma base para diversas tecnologias modernas.
6. Agradeça a participação dos estudantes nas atividades.

Aplicação do Questionário Final (35 minutos)

Instruções:

1. Distribua o questionário final (APÊNDICE) impresso ou disponibilize digitalmente via Microsoft Forms.
2. Explique que o questionário inclui:
 - Questões conceituais, cobrindo os principais tópicos da Física Quântica estudados.
 - Questões reflexivas, onde os estudantes devem expressar suas opiniões sobre o ensino da Física Quântica.
 - Perguntas sobre pseudociência, para avaliar o impacto da sequência no pensamento crítico dos estudantes.

Considerações Finais e Agradecimentos (5 minutos)

Instruções:

1. Agradeça a participação ativa dos estudantes e elogie o engajamento nas atividades práticas e discussões.
 2. Pergunte: "Se vocês tivessem que explicar Física Quântica para alguém que nunca ouviu falar, o que diriam?"
 3. Relacione essa resposta com a importância de divulgar o conhecimento científico de forma responsável e combater a desinformação.
 4. Finalize ressaltando que a Física Quântica não é apenas uma teoria complexa, mas uma área que revolucionou a ciência e a tecnologia.
-

Resumo da Aula

Conteúdos abordados:

- Conceitual: Revisão dos principais conceitos da sequência didática.
- Procedimental: Reflexão crítica sobre o aprendizado e aplicação do questionário final.
- Atitudinal: Desenvolvimento do pensamento científico e avaliação do impacto da sequência didática.

Estratégias didáticas:

- Discussão coletiva sobre os aprendizados e desafios.
- Reflexão sobre o ensino de Física Quântica no Ensino Médio.
- Aplicação do questionário final para avaliação da evolução dos estudantes.

Sugestão de Avaliação:

- Participação ativa na roda de conversa.
- Qualidade das respostas no questionário final.
- Reflexões críticas sobre a importância da Física Quântica no Ensino Médio.

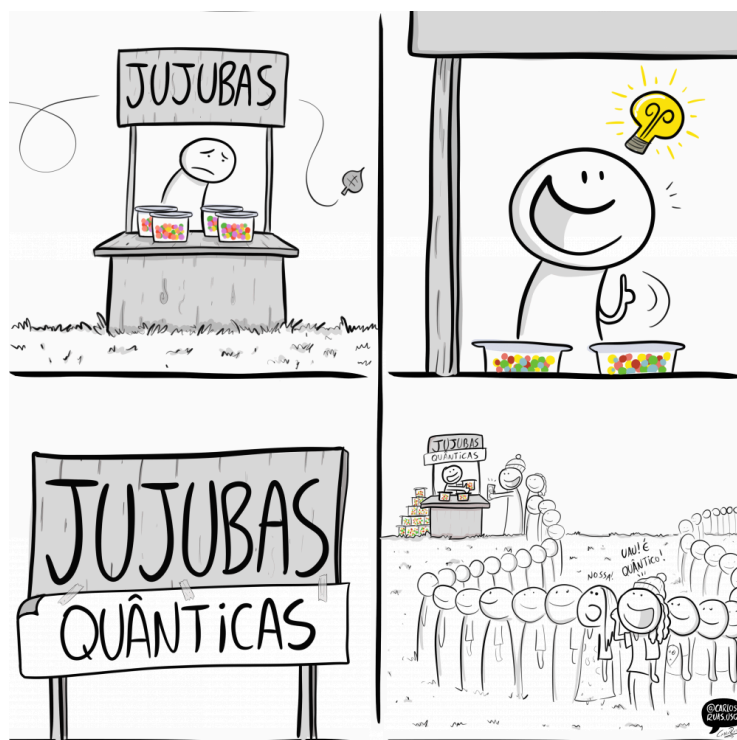
QUESTIONÁRIO FINAL (SUGESTÕES DE QUESTÕES)

1. Já assistiu a algum filme, série ou jogo que menciona a Física quântica? Descreva essa situação e explique de que forma ela influencia a compreensão desse tema pela sociedade.

2. As folhas de uma árvore, quando iluminadas pela luz do Sol, mostram-se verdes porque:

- a) refletem difusamente a luz verde do espectro solar;
- b) absorvem somente a luz verde do espectro solar;
- c) refletem difusamente todas as cores do espectro solar, exceto o verde;
- d) difratam unicamente a luz verde do espectro solar;
- e) a visão humana é mais sensível a essa cor.

3. Pseudociência e uso indevido da Física Quântica



disponível em: <https://www.umsabadoqualquer.com/tag/quanticas/>

a) Você já viu ou ouviu falar de produtos, terapias ou serviços anunciados como "baseados em princípios da Física Quântica"? Caso sim, descreva um exemplo e explique, com base nos conceitos discutidos em aula, em que medida esse uso se aproxima ou se distancia da Física Quântica real. Indique eventuais equívocos presentes na forma como o termo "quântico" é utilizado.

b) Abaixo está um exemplo fictício de propaganda:

"Este colar quântico alinha suas energias, harmoniza seus chakras e fortalece o seu campo eletromagnético com a força dos elétrons vibrando em alta frequência."

Com base nos conhecimentos adquiridos sobre Física Quântica, explique por que essa propaganda pode ser considerada pseudocientífica. Aponte quais elementos do discurso se afastam dos conceitos científicos da Física e justifique por que o uso do termo "quântico" nesse contexto é inadequado.

4. Supondo que no interior de uma sala haja três objetos de cores distintas: verde, azul e vermelho. De que cor, respectivamente, veremos esses objetos se essa sala for iluminada por uma luz de cor azul?

- a) Azul, azul e roxo;
- b) Verde, azul e roxo;
- c) Preto, azul e preto;
- d) Todos azuis;
- e) Branco, azul e branco.

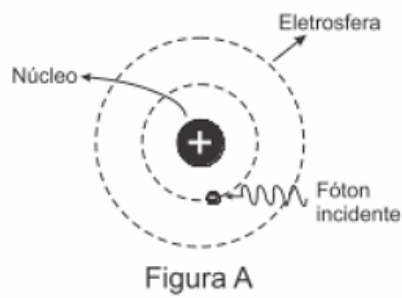
5. Em nossas aulas discutimos sobre terapias ou práticas de cura que afirmam usar a Física quântica. A partir das discussões realizadas em aula dê sua opinião sobre tais práticas.

6. A tecnologia utilizada no sistema WEEDit para pulverização localizada é bastante inteligente. O sistema de sensores realiza a leitura da área, emitindo uma luz vermelha de alta intensidade para detectar plantas vivas indesejadas, conforme imagem ao lado. Um conjunto de sensores realiza leituras com uma frequência de 40 mil vezes por segundo. A clorofila das plantas responde à luz vermelha emitida pelo sensor absorvendo-a e emitindo luz NIR (infravermelho próximo) através da fluorescência, emissão que é detectada pelos sensores. Os sensores WEEDit identificam mesmo as menores emissões de clorofila e reagem acionando o conjunto de bicos referente à planta identificada, aplicando apenas o necessário, de acordo com o tamanho da planta.



Disponível em: <http://smartsensingbrasil.com.br/index.html>. [Adaptado]. Acesso em: 25 out. 2017.

O modelo atômico de Bohr pode ser utilizado para explicar a absorção da luz vermelha pela clorofila e a emissão da luz NIR, considerando a luz como fótons, conforme figura A abaixo.



- a) Desenhe a posição do elétron depois que o fóton incidiu sobre o átomo (figura A). Explique o que ocorreu.

<p>Figura B</p>	

- b) Desenhe a energia absorvida do fóton incidente sendo liberada e a posição do elétron após essa liberação. Explique o que ocorreu.

<p>Figura C</p>	

7. Como estudante do ensino médio, o que você acha que poderia ser feito em sala de aula para esclarecer equívocos comuns sobre a Física quântica? Como professores podem tornar esses conceitos mais acessíveis e compreensíveis para todos?

8. A natureza da luz é uma questão que preocupa os físicos há muito tempo. No decorrer da história da Física, houve predomínio ora da teoria corpuscular - a luz seria constituída de partículas - ora da teoria ondulatória - a luz seria uma onda.

- a) Descreva a concepção atual sobre a natureza da luz.
- b) Descreva, resumidamente, uma observação experimental que sirva de evidência para a concepção descrita no item anterior.

9. Muitas vezes, ouvimos falar sobre a ideia de "saltos quânticos" sendo usada em contextos que podem não ter base científica. Você já encontrou alguma situação em que o termo "salto quântico" foi usado de maneira incorreta ou exagerada fora do contexto da Física quântica? Descreva essa situação e explique por que você acredita que essa aplicação do termo pode ser considerada pseudocientífica. Como podemos distinguir entre o uso correto na Física e sua utilização equivocada em outros contextos?

10. Leia o enunciado abaixo, sobre as órbitas eletrônicas.

“As órbitas eletrônicas em torno dos núcleos atômicos devem conter um número inteiro N de comprimentos de onda de Broglie do elétron.”

Considere as seguintes afirmações sobre o enunciado acima.

- I. Ele evidencia o comportamento onda-partícula do elétron.
- II. Ele assegura que as órbitas eletrônicas são sempre circunferências.
- III. Ele define o número quântico N que identifica a órbita ocupada pelo elétron.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
 - b) Apenas II.
 - c) Apenas I e III.
 - d) Apenas II e III.
 - e) I, II e III.
-

Texto para a próxima questão:

A Relação entre a Teoria das Cores e Fenômenos Quânticos na Observação de Cores

A teoria das cores RGB baseia-se na mistura aditiva de três cores de luz (vermelho, verde e azul) para criar a percepção de várias cores pelo olho humano. Este modelo explica como percebemos cores sob a iluminação padrão. Contudo, alguns fenômenos de emissão de luz, como a fluorescência e a fosforescência, apresentam características que vão além da simples mistura de luz visível. Estes fenômenos são comumente observados em materiais 'neon' sob certas condições de iluminação.

A fluorescência e a fosforescência ocorrem quando substâncias específicas absorvem fótons de luz e reemitem essa luz após um breve período, mas com uma energia diferente daquela inicialmente absorvida, resultando em cores vibrantes e, muitas vezes, na faixa do ultravioleta, não visíveis ao olho humano sem ajuda.

11. Com base no texto e em seus conhecimentos, responda:

- a) Explique, com base nos princípios da mecânica quântica, por que a teoria das cores RGB é insuficiente para descrever completamente os fenômenos da fluorescência e da fosforescência.
 - b) Descreva o processo pelo qual as tintas 'neon' são capazes de emitir luz visível quando expostas à luz ultravioleta e como isso se relaciona com os conceitos de níveis de energia e transições eletrônicas na Física quântica.
-

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este material foi desenvolvido como um recurso didático voltado a professores do Ensino Médio interessados em introduzir a Física Quântica de maneira acessível, crítica e contextualizada. A sequência didática propõe uma abordagem investigativa e interdisciplinar, permitindo que os estudantes construam conhecimento por meio da experimentação, da análise de fenômenos e da discussão fundamentada, diferenciando conceitos científicos de interpretações pseudocientíficas.

A proposta está fundamentada na perspectiva construtivista de Zabala (1998), que reconhece o papel das sequências didáticas como estruturas organizadoras da aprendizagem. Essa abordagem favorece o desenvolvimento progressivo da compreensão conceitual, articulando saberes prévios com os novos conteúdos de maneira significativa. A estrutura modular adotada permite ao professor adaptar o material conforme as especificidades da turma, oferecendo flexibilidade sem comprometer a coerência do percurso formativo. Mais do que um roteiro rígido, o material deve ser compreendido como uma proposta aberta, passível de adequações conforme o contexto escolar, os recursos disponíveis e as escolhas pedagógicas de cada docente.

Um dos diferenciais deste trabalho é a incorporação de discussões críticas sobre pseudociência e misticismo quântico, cada vez mais presentes em conteúdos midiáticos e em discursos que distorcem o conhecimento científico. Ao promover o letramento científico e incentivar a análise crítica de fontes de informação, o material também atua na formação cidadã dos estudantes, fortalecendo sua autonomia intelectual diante de fenômenos culturais contemporâneos.

Espera-se, assim, que este produto educacional contribua para enriquecer o ensino de Física Moderna no Ensino Médio, oferecendo ferramentas concretas para explorar conceitos quânticos de forma conectada à realidade dos estudantes. Que ele possa inspirar novas práticas pedagógicas e fomentar o interesse pela ciência de maneira crítica, reflexiva e socialmente relevante.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BISCUOLA, Gualter José; DOCA, Ricardo Helou; VILLAS BÔAS, Newton. **Tópicos de Física**: Volume 3. 18. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

CASTILHO, C. M. C. de; NASCIMENTO, V. B.; SOARES, E. A.; ESPERIDIÃO, A. S. C.; MOTA, F. B.; CARVALHO, V. E. de. Difração de elétrons de baixa energia (LEED) e a determinação da estrutura atômica de superfícies ordenadas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 527-543, 2005. Disponível em: <https://www.sbfisica.org.br/rbef>. Acesso em: 21 out. 2024.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica**: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Tradução de João da Silva. São Paulo: Edgard Blücher, 1979.

GRIFFITHS, David. J. **Mecânica Quântica**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

GRIFFITHS, David J. **Eletrodinâmica**. Tradução de Heloisa Coimbra de Souza. 3. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

HEWITT, PAUL G. **Física conceitual**. Tradução de Trieste Freire Ricci. Revisão técnica de Maria Helena Gravina. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MARTINS, Roberto de Andrade; ROSA, Pedro Sérgio. **História da teoria quântica**. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

NEWTON, ISAAC. **Óptica**: Sir Isaac Newton. Tradução, introdução e notas de André Koch Torres Assis São Paulo: Universidade de São Paulo, 2017.

PESSOA JUNIOR, OSVALDO. O fenômeno cultural do misticismo quântico. **Teoria quântica**: estudos históricos e implicações culturais. Tradução. Campina Grande: EdUEPB, 2011. Acesso em: 20 out. 2022.

PESSOA JUNIOR, OSVALDO. **Conceitos de Física quântica**: Vol. 1. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2019.

SANTOS, Carlos Alberto dos. Millikan e a questão do potencial de contato no experimento do efeito fotoelétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, e3602, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0321>. Acesso em: 5 mar. 2025

SÃO PAULO. Secretaria da Educação do Estado de São Paulo. União dos Dirigentes Municipais de Educação do Estado de São Paulo. **Currículo Paulista (Versão 1)**. São Paulo: SEE-SP/UNDIME-SP, 2018. Disponível em <https://efape.educacao.sp.gov.br/curriculopaulista/>. (Acesso em 29/06/2022).

SAITO, Marcia Tiemi. O fenômeno cultural do misticismo quântico: possibilidades e perspectivas de investigação. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 4, ed. especial, p. 1101-1129, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12903>. Acesso em: 09 mar. 2025.

STUDART, Nelson. A Invenção do Conceito de Quantum de Energia segundo Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Carlos, v. 22, n. 4, p. 523, dez. 2000.

VILAS BOAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Tópicos de Física** - Vol. 2 - Termologia, Ondulatória e Óptica. 19. ed. São Paulo: Saraiva, 2012.

VIVIANI, Vadim R.; BECHARA, Etelvino J. H. Um Prêmio Nobel por uma Proteína Brilhante. **Química Nova**, n. 30, novembro 2008. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/27361101/quimica-nova-na-escola-nov-2008/7>. Acesso em: 23/05/2024.

ZABALA, Anteni **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul Ltda., 1998.

APÊNDICE

**MODELO DE RELATÓRIO
NÚCLEO DE ESTUDOS DE Física BÁSICA**

TÍTULO DO TRABALHO

**NOMES DOS INTEGRANTES DO GRUPO
2º SÉRIE DO ENSINO MÉDIO**

**CAMPINAS- SP
DATA (MÊS/ANO)**

INTRODUÇÃO

Insira aqui uma introdução sobre o tema que será apresentado no relatório. podem fazer uma breve descrição da atividade, introduzir os conceitos principais que serão apresentados.

OBJETIVOS

Descrever brevemente quais foram os objetivos da atividade realizada.

MATERIAIS

Faça uma descrição de todos os materiais necessários. exemplo:

- papel;
- caneta;
- lâmpada rgb;

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Aqui devem ser registrados os detalhes da realização do experimento. Expliquem quais as técnicas e procedimentos utilizados.

DADOS EXPERIMENTAIS

Aqui devem ser registrados resultados experimentais.

CONCLUSÕES

No encerramento devem analisar os resultados, realizar comparações e discussões para chegarem às conclusões.

REFERÊNCIAS

Colocar as referências do trabalho.

ROTEIRO EXPERIMENTAL DA ATIVIDADE DESENHOS E CORES UM ESTUDO DA TEORIA DAS CORES E SALTO QUÂNTICO

Em grupos, os estudantes devem realizar um desenho colorido e investigar seu comportamento quando submetidos à diferentes fontes de luz. numa sala escura, irão colocar o desenho sob diferentes formas de luz: 3 cores do espectro visível (vermelho, verde e azul – rgb) e uma luz ultravioleta (uv) – conhecida popularmente como “luz negra”. Devem registrar os desenhos ao longo do processo com fotos para fazer a análise futura. também devem registrar com foto as pinturas corporais com “tintas neon” que foram submetidas à luz negra.

Uma discussão sobre os resultados encontrados deverá ser feita em torno de observações e dados coletados.

Roteiro da atividade

Segue o roteiro das atividades que devem ser desenvolvidas ao longo das aulas. Esse roteiro deverá ser realizado com diferentes desenhos possibilitando assim um estudo comparativo para discussão e conclusões.

1. Produzir dois desenhos coloridos utilizando duas técnicas diferentes: pontilhismo e traços contínuos.
 - a. mínimo de 3 cores.
 - b. temas para fundamentar o desenho:
 - i. “o que é a realidade?”
 - ii. “o que é a matéria?”
2. Submeter ao desenho à diferentes luzes na sala escura e fotografar. mínimo de 3 cores (rgb) e luz negra.
3. Utilizar as tintas “neon” para pintura corporal (ou no papel) e submeter à luz negra. Fotografar os processos e resultados.

Após as etapas na sala escura, devem elaborar um relatório para responder as seguintes perguntas:

1. Compare as fotos do desenho na luz branca com as observadas com os desenhos sob luzes coloridas e responda: percebe alguma diferença nos desenhos? descreva suas observações.
 2. Compare agora os desenhos na luz branca com as observações na luz uv – “luz negra” e responda: percebe alguma diferença nos desenhos? descreva suas observações.
 3. As pinturas com tinta neon “brilham” quando submetidos à quais fontes de luz? explique os motivos e diferenças observadas.
 4. Pesquise sobre salto quântico e faça um pequeno resumo sobre os resultados encontrados.
 5. A teoria das cores (clássica) explica todos os fenômenos observados?
 6. Qual a relação do brilho observado com a luz uv e salto quântico?
-

ROTEIRO DA CONSTRUÇÃO DO ESPECTRÓGRAFO

UM ESTUDO DO ESPECTRO DA LUZ ATRAVÉS DA CONSTRUÇÃO DE UM ESPECTRÓGRAFO PARA CELULAR

Em grupos, os estudantes devem construir um espectrógrafo – conforme modelo – para analisar o espectro da luz emitida por diferentes fontes. Ao analisarmos a luz podemos ver suas diferentes composições de frequências – cores. com isso objetivamos estudar o funcionamento do espectrógrafo e as diferentes composições da luz.

Materiais necessários

Para realizar a atividade são necessários os seguintes itens:

- folha sulfite preta
- cd/dvd velho para servir de grade de difração.
- estilete
- fita adesiva
- câmera digital (celular)

Roteiro da Atividade

Segue o roteiro das atividades que devem ser desenvolvidas ao longo das aulas. Esse roteiro deverá ser realizado com diferentes fontes de luz possibilitando assim um estudo comparativo para discussão e conclusões.

1. Construir um espectrógrafo conforme o modelo apresentado (ou similar) e utilizá-lo anexado à uma câmera digital.
2. Apontar o espectrógrafo para diferentes fontes de luz e registrar as imagens observadas (fotos).

fontes de luz:

- a. sol
 - b. lâmpada fluorescente
 - c. rgb
 - d. luz negra
 - e. ou outras
-

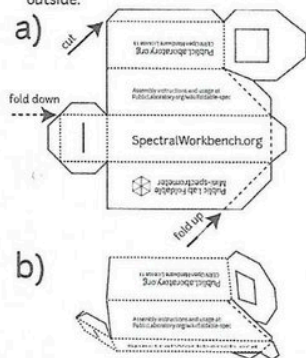
3. Explicar os resultados observados e realizar comparações entre os espectros.

Escrever um relatório conforme o modelo em anexo explicando o funcionamento do espectrógrafo e respondendo as seguintes perguntas:

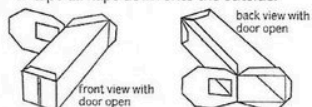
1. compare as fotos do espectro da luz branca com o espectro da lâmpada fluorescente e da rgb. observaram diferenças? descrevam as observações.
 2. compare agora com o espectro da luz uv. descrevam as observações. houve alteração?
 3. quais as possíveis aplicações de um espectrógrafo?
-

INSTRUÇÕES E MODELO DE ESPECTRÓGRAFO

- 1. cut and fold**
Cut along the outer edge. Fold up or down as indicated by the dotted and dashed lines. All labels should stay on the outside.



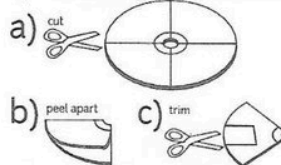
Except for the diffraction grating door, glue or tape all flaps down onto the outside.



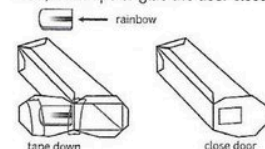
- 2. make a diffraction grating from a DVD-R**
A diffraction grating is a series of close slits that disperse light.



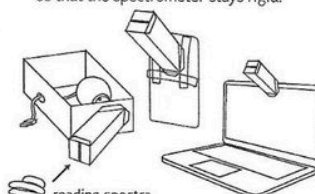
To make one from a DVD-R, split it into quarters, peel off the reflective layer and trim a small clean square out of the transparent layer. Try to pick a clean piece without fingerprints or scratches.



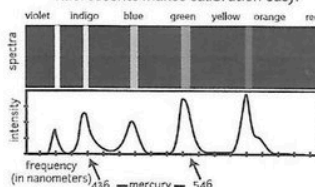
To work as a diffraction grating the DVD-R must be placed so that its grating is vertical, making a horizontal spectral rainbow. Tape your DVD piece to the inside of the spectrometer's door, then tape or glue the door closed.



- 3. attach to a webcam, phone, or laptop**
The spectrometer can be mounted on a camera phone, laptop, or with the help of a box, attached to a webcam. Line up carefully so that the rainbow is in the middle of the image, and tape down firmly so that the spectrometer stays rigid.

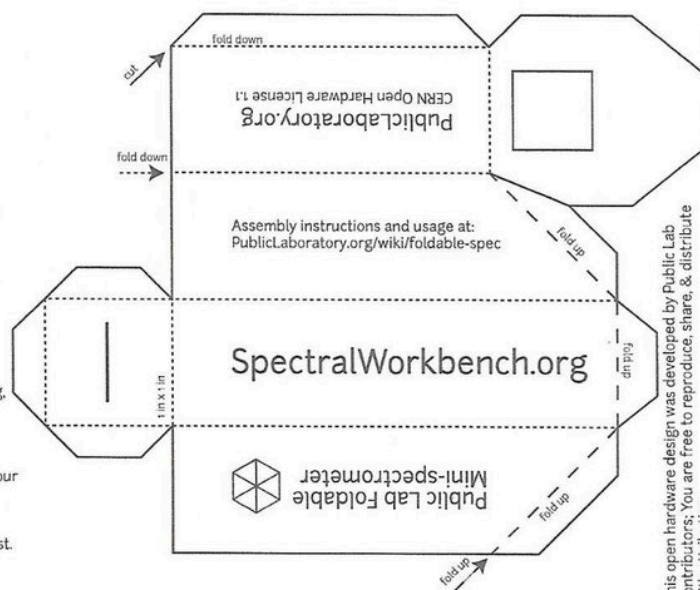


reading spectra
Every molecule emits only certain frequencies of light, and under the right conditions a spectrometer can detect these as rainbow bands. With two clear bands, the mercury in compact fluorescents makes calibration easy.



Join up, calibrate, & share spectra
Go online to Spectralworkbench.org, follow the calibration instructions, and you'll be ready to upload calibrated spectra!

Don't forget to share and publish your research as Research Notes on Publiclaboratory.org, and ask questions through the Public Laboratory Spectrometry mailing list.



This open hardware design was developed by Public Lab contributors; You are free to reproduce, share, & distribute with attribution.

MODELO DE ESPECTRÓGRAFO

