



MECÂNICA QUÂNTICA PARA O ENSINO MÉDIO: EXPLORANDO A
UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS DIVERSOS

Eduardo Alexandrino Ávila

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Maringá no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dr. Luciano Gonsalves Costa

Maringá, PR
Dezembro de 2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

A958m Ávila, Eduardo Alexandrino
Mecânica quântica para o ensino médio :
explorando a utilização de recursos didáticos
diversos / Eduardo Alexandrino Ávila. -- Maringá,
2016.
ix, 79 f. : il. color., figs., tab.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Gonsalves Costa.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Maringá, Programa de Pós-Graduação do Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, 2016.

1. Física - Ensino médio. 2. Mecânica quântica -
Recursos didáticos. I. Costa, Luciano Gonsalves,
orient. II. Universidade Estadual de Maringá.
Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional
Profissional em Ensino de Física. III. Título.

CDD 21.ed. 530.071
AMMA-003394

MECÂNICA QUANTICA PARA O ENSINO MÉDIO: EXPLORANDO A
UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS DIVERSOS

Eduardo Alexandrino Ávila

Orientador:
Dr. Luciano Gonsalves Costa

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Maringá no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Luciano Gonsalves Costa

Profa. Dra. Hercília Alves Pereira

Profa. Dra. Adriana da Silva Fontes

Maringá, PR
Dezembro de 2016

Dedico esta dissertação a todos os que contribuíram de alguma forma com as minhas discussões, em especial aos meus avôs Osny e Elsa, por ocuparem o lugar do meu pai em minha formação.

"Se você não consegue explicar de uma maneira simples, você não entende o assunto bem o suficiente".

“Educar verdadeiramente não é ensinar fatos novos ou enumerar fórmulas prontas, mas sim preparar a mente para pensar”.

Albert Einstein

Agradecimentos

Aos amigos e colegas, pelo aprofundamento de discussões e companhia nestes anos de mestrado;

Ao professor Luciano, pela orientação;

À professora Hatsumi, pela ajuda nas correções;

À Capes pelo apoio financeiro por meio da bolsa concedida.

RESUMO

MECÂNICA QUÂNTICA PARA O ENSINO MÉDIO: EXPLORANDO A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS DIDÁTICOS DIVERSOS

Eduardo Alexandrino Ávila

Orientador:
Dr. Luciano Gonsalves Costa

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Maringá no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

A escola, além do papel de transmissão dos saberes historicamente construídos, é um lugar para a reflexão e criação de novas interpretações, onde deve se estimular a capacidade inerente da criatividade. As mudanças da concepção de escola e as novas alternativas sobre a sua construção devem ser analisadas sob a perspectiva da cultura que o aluno traz da sua convivência social, sua experiência com o conhecimento fora da sala de aula e a cultura oferecida no ambiente escolar.

A Educação Básica, que busca a universalização de seu acesso, exige a reflexão sobre os saberes transmitidos. A relevância do ensino de Física para a formação básica encontra obstáculos, não apenas nos conteúdos tradicionais, mas especificamente na Física Moderna e Contemporânea. Nesse sentido, investigamos os desafios e propomos estratégias para o seu enfrentamento.

O ensino não deve apenas se traduzir em conceitos abstratos fora de contextualização, por isso também investigamos o apoio de materiais didáticos disponíveis para Ensino Médio para a elaboração desse curso, concretizando-o com a prática em sala de aula. Por meio de uma revisão bibliográfica de livros de ensino de Física na Educação Básica, elaboramos apresentações em slides e aplicamos um curso-piloto em sala de aula, oferecendo, assim, uma experiência no ensino de Mecânica Quântica.

Com a finalidade de aplicar um curso-piloto de Mecânica Quântica em situações reais de uma escola da rede estadual de ensino do Paraná, nos preocupamos em adaptar às condições de infraestrutura, carga horária e pré-requisitos dos alunos. Visamos que os conteúdos ensinados despertem interesse dos alunos, e apresentamos um conteúdo que faça sentido na vida do aluno e na possibilidade de aplicação no que é estudado.

Palavras-chave: Ensino de Física, Mecânica Quântica, Recursos Didáticos.

Maringá, PR
Dezembro de 2016

ABSTRACT

QUANTUM MECHANICS FOR HIGH SCHOOL: EXPLORING THE USE OF DIVERSE TEACHING RESOURCES

Eduardo Alexandrino Ávila

Adviser:
Dr. Luciano Gonsalves Costa

Master's dissertation submitted to the graduate program of Universidade Estadual de Maringá at Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Physics Teaching.

Besides the role of transmitting the knowledge historically constructed to the students, the school is a place to the reflection and creation of new interpretations, where it must be stimulated the capacity inherent of creativity. The changes from the conception of school and the new alternatives about its construction must be analyzed by the perspective of the culture which the student brings from his or her social living, his or her experience with the knowledge outside the classroom and the culture offered in the scholar environment.

The basic education, which seeks the universalization of its access, demands the reflection about the transmitted knowledge. The relevance of the physics teaching to the basic formation comes across obstacles, not only on the traditional content, but also specifically on the Modern and Contemporary Physics. In this regard, we will investigate the challenges and suggest strategies to its confrontation.

The education must not translate itself only into abstract concepts away from contextualization, this way we will also investigate the support of the didactic material available for high school in order to elaborate this course and achieve the practice into the classroom. By doing a bibliographic review of Physics teaching books in the basic education, we will develop presentations in slide and apply a pilot course into the classroom. Offering this way, an experience in the Quantum Mechanics teaching.

By aiming the application of a pilot course of Quantum Mechanics in real situations from a state school at Paraná, we will be careful about adapting to the infrastructure conditions, workload and prerequisites of the student. Seeking for awakening the interest of the students about the taught contents, we will present the subject that makes sense in the student's life and in the possibility of applying what is studied.

Keywords: Physics teaching, Quantum Mechanics, Didactic Resources.

Maringá
December 2016

Lista de Figuras

Figura 1. TV Pen drive, protegida por uma estrutura de metal.	4
Figura 2. Configurações usadas para conversões de vídeo da TV Pen drive.	5
Figura 3. Computadores da sala de informática.	6
Figura 4. Computador interativo com projetor multimídia.	7
Figura 5. Respostas da primeira pergunta no pré-teste.	15
Figura 6. Respostas da primeira pergunta no pós-teste.	16
Figura 7. Evolução média dos resultados nas doze questões.	18
Figura 8. Evolução individual dos resultados nas doze questões.	18

Lista de Tabelas

Tabela 1. Resultados obtidos nas questões de múltiplas escolhas.	17
-----------------------------------------------------------------------	----

Sumário

Capítulo 1 O ensino e os desafios em sala de aula	1
1.1 Tecnologias educacionais disponíveis nas escolas públicas do Estado do Paraná	4
1.1.1 TV Pen drive	4
1.1.2 Computadores	5
1.1.3 Computador interativo	6
1.2 Problemas enfrentados	7
1.2.1 Carga horária e seu aproveitamento	7
1.2.2 Aversão dos alunos aos cálculos	8
1.2.3 Desinteresse dos alunos	9
1.3 Soluções encontradas	10
Capítulo 2 A elaboração do curso piloto	12
2.1 Atividades Elaboradas	12
Capítulo 3 Aplicação do curso e análise dos resultados	14
Capítulo 5 Considerações Finais	20
Referências Bibliográficas	21
Apêndice A Produto da Dissertação	25
Os Desafios na Elaboração da Sequência Didática de Mecânica Quântica para o Ensino Médio	29
Objetivo Geral	30
Objetivos Específicos	30
Difusão do curso	30
Roteiro da Sequência Didática	30
Planejamento das aulas e avaliações	56
Conclusão	58
Anexo A Conteúdo Auxiliar de Mecânica Quântica	59
Anexo B Pré-teste e Pós-teste aplicado ao Ensino Médio	72

Capítulo 1

O ensino e os desafios em sala de aula

Como professor do Ensino Médio, ocasionalmente somos questionado pelos alunos sobre o motivo de se estudar Física e sobre onde é aplicada (para que serve?). Essa indagação se torna conveniente, visto o grande tempo que gastamos durante as nossas vidas em permanecermos sentados ouvindo os ensinamentos de um professor. O não convencimento desse questionamento levará o aluno a não tratar o conhecimento como algo interessante, mas apenas como uma obrigação imposta. O desinteresse pelo estudo de ciências “têm sido frequentemente uma preocupação entre os educadores e em vários congressos e artigos científicos vem sendo abordada esta problemática” (DE ANDRADE, 2010).

Nesse sentido devemos buscar um conteúdo que desperte o interesse do aluno, estando presente no seu dia-a-dia, que ao mesmo tempo não seja banal e que se coloque como desafiante ao estudante. Caso contrário, encontraremos nas nossas salas de aula um grande empecilho: “a indisciplina apresenta-se como um dos maiores desafios da educação contemporânea” (VIANA, 2014).

Estaria a escola atrasada, obsoleta? Estamos no século XXI e a ciência envolvida nos nossos aparatos tecnológicos como os smartphone e notebooks remonta há um pouco mais de um século. De forma contrastante, muitos alunos concluem o Ensino Médio sem compreender a ciência das tecnologias atuais.

... vivemos numa sociedade digital e do conhecimento e vemos o ensino, especialmente de Matemática e Física, na maior parte das vezes, sendo desenvolvido da mesma forma como se fazia há séculos. Embora sabemos que o setor educacional tem se esforçado para acompanhar o desenvolvimento tecnológico da sociedade, mas por razões múltiplas, não tem alcançado grandes mudanças (TOMKELSKI, 2007).

A Física tem o potencial de nos fornecer uma visão questionadora do mundo que nos cerca (sempre buscando uma explicação mais condizente com a realidade) é papel

central no desenvolvimento tecnológico. Devemos utilizar esse conhecimento para melhorar a nossa qualidade de vida, por meio do uso de tecnologias, assim como a Revolução Industrial, permitiu que máquinas aumentassem a produção de bens.

Somos moldados pelo nosso meio ambiente para nele podermos sobreviver, e o uso de ferramentas foi primordial para que passássemos de nômades para agricultores para então construirmos a nossa civilização em cidades. Novas forma de produzir tiveram que ser absorvidas para que passássemos a produzir cada vez, em maiores quantidades. Uma preocupação que surge é não sermos apenas passivos consumidores dessas novas tecnologias. Usamos cada vez mais as tecnologias, mas será que os nossos conhecimentos sobre elas também estão aumentando?

Diante disso, propomos o ensino de Mecânica Quântica. Neste trabalho, procuramos examinar e apontar uma proposta facilitadora da inserção desse conteúdo na Educação Básica como um assunto que insira o aluno na tecnologia de ponta, que entenda como o mundo quântico pode ser fascinante, Gouvêa nos dá uma noção do impacto da tecnologia em nossas vidas:

A tecnologia, que inicialmente deriva da ciência, somente passou a ser focalizada com maior destaque quando, neste século, provocou impactos fortes sobre a sociedade ao comprovar tanto seu poder de destruição (a bomba atômica na II Guerra) quanto sua capacidade de solucionar problemas (aparelhos e artefatos que permitem diagnósticos precisos de doenças), de aprofundar conhecimentos (artefatos que permitem deslocamentos, observações, medidas etc.) e de oferecer comodidades e diversões de toda ordem (aparelhos para comunicação a longa distância, filmes, vídeos etc.) (GOUVÊA, 2001).

É inegável como os aparatos tecnológicos influenciam o nosso modo de vida, não somente nos meios de produção industrial, de uso de diferentes fontes de energia ou transporte, mas na relação interpessoal. Conforme defendem por Pierson & Hosoume (1997), o conhecimento científico apropriado pelo aluno é necessário para o exercício da sua cidadania, e a ciência também faz parte da sua cultura.

Costumamos temer o desconhecido, por isso os profissionais da educação apresentam “um certo temor pela máquina e equipamentos eletrônicos, medo da despersonalização e de ser substituído pelo computador” (LIBÃNEO, 2014). Existe

então um dilema: as facilidades e o medo da perda do emprego. Inevitavelmente teremos que nos adaptar a uma nova sala de aula, em que só “saliva e giz” não serão suficientes.

Então, a solução é apenas encher as salas de aparatos tecnológicos? Não basta, temos que “utilizar essa tecnologia para a busca e a seleção de informações que permita a cada pessoa resolver os problemas do cotidiano, compreender o mundo e atuar na transformação de seu contexto” (DE ALMEIDA, 2005).

Nesse âmbito a tecnologia não permite apenas novas formas de o professor ensinar, permite também que o aluno conquiste a sua independência intelectual. O professor tem a oportunidade de utilizar uma sala de informática para se transformar em um orientador. E o aluno, com supervisão, é capaz de buscar o conhecimento.

Fica clara a necessidade de conhecermos as novas ferramentas do nosso dia-a-dia. Devemos então trazer esses conhecimentos para a Educação Básica, buscando superar as aulas baseadas na simples memorização de conceitos e fórmulas matemáticas, tentando fazer com que o ensinado tenha sentido no dia-a-dia do aluno.

Esse objetivo conta com a ajuda das novas tecnologias, cada vez mais presentes nas salas de aulas, de uma simples TV até as lousas digitais. “A relação professor-aluno pode ser profundamente alterada pelo uso das novas tecnologias, em especial se estas são utilizadas intensamente” (PONTES & SERRAZINA, 1998). O aluno já faz muitos usos dessas tecnologias fora da sala de aula, passa o dia inteiro na frente de um notebook ou de um aparelho celular. O professor tem “muitas vezes, de efetuar ele próprio uma pesquisa a propósito de questões que não tinha considerado inicialmente. Professor e aluno passam a ser parceiros de um mesmo processo de aprendizagem” (PONTES e SERRAZINA, 1998).

Tornar a escola interessante em meio às intensas mudanças tecnológicas é desafiador. Gouveia (2001), em seu trabalho, traz desabafo de uma professora sobre a consciência do seu atraso em obter novas informações sobre o desenvolvimento científico:

Tem alunos que são ligados à Internet. Eles trazem até coisas que você não sabia. Eles descobrem no computador. Eu, por exemplo, não tenho computador... Mas eu deveria ganhar o suficiente para fazer uma assinatura científica, pelo menos uma revista mensal. Então, por vezes, eles estão mais atualizados que eu (GOUVÊA, 2001).

1.1 Tecnologias educacionais disponíveis nas escolas públicas do Estado do Paraná

Mesmo que muito atrasada, a tecnologia se apresenta nas escolas públicas. Indicamos aqui as tecnologias disponíveis, para então propor seu uso para o ensino de Mecânica Quântica.

1.1.1 TV Pen drive

É a ferramenta educacional que só perde em praticidade para o próprio quadro-negro. Seu tamanho é de 29 polegadas e possui entradas para VHS, DVD, cartão de memória e pen drive. Ela permite o uso direto de arquivos de som (MP3 e WMA.), imagens (JPEG) e vídeo (MPEG1, MPEG2, DIVX® E XVID).



Figura 1. TV Pen drive, protegida por uma estrutura de metal¹.

Devemos tomar cuidado na reprodução de vídeos em alta qualidade, que possivelmente ocasionará travamento. A resolução de tela é de 480 pixels, sendo essa a resolução ideal para uma boa fluidez do vídeo. Programas como o *FormatFactory*²

¹Fonte: elaborada pelo autor.

² O nome FormatFactory é marca registrada, Copyright © 2016 Free Time. All rights reserved

podem ser usados para converter vídeos³. Na Figura 2, mostramos as configurações usadas:

Setting	Value
Type	AVI
Use system decoder (AviSynth)	Off
Video Stream	
Video Encode	MPEG4(Xvid)
Video Size	640x480
Bitrate (KB/s)	Default
FPS	23.976
Aspect Ratio	4:3
Encode 2 pass	No
Audio Stream	
Audio Encode	MP3
Sample Rate (HZ)	44100
Bitrate (KB/s)	128
Audio Channel	2
Disable Audio	No
Volume Control (+dB)	12 dB
Audio Stream Index	Default

Figura 2. Configurações usadas para conversões de vídeo da TV Pen drive.⁴

1.1.2 Computadores

Disponíveis nas escolas estaduais, as salas de informática carecem de equipamentos com bons hardwares e softwares. São formadas por computadores compartilhados, em que uma mesma CPU é ligada a dois ou até a quatro monitores, como ilustramos na Figura 3.

³O programa utilizado para conversão de vídeos, encontra-se gratuitamente para ser baixado no link: <http://www.pcfreetime.com/freedownload.php>

⁴Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 3. Computadores da sala de informática⁵.

Além dos problemas de manutenção, outra dificuldade de uso é o seu sistema operacional não ser muito popular, o Linux. Isso, por um lado evita a infecção por vírus, mas atrapalha o uso de softwares, não sendo possível nem mesmo instalar softwares do próprio Linux se não houver a senha de administrador do sistema.

1.1.3 Computador interativo

É a ferramenta mais atual disponível, trata-se de um computador integrado a um projetor multimídia, do tamanho de uma maleta, facilmente transportado de uma sala para outra. Seu inconveniente é ser disponibilizado geralmente apenas um equipamento por escola, e por se tratar de um equipamento valioso, comumente as escolas o tratam com burocracia, exigindo agendamento. O seu sistema operacional também é o Linux (Figura 4).

⁵Fonte: elaborada pelo autor.



Figura 4. Computador interativo com projetor multimídia⁶.

1.2 Problemas enfrentados

Após verificarmos quantitativa e qualitativamente a oferta de recursos pedagógicos disponíveis para a aplicação do Curso de Mecânica Quântica, na sequência elencamos o que atrapalha o bom aprendizado em Física no Ensino Médio.

1.2.1 Carga horária e seu aproveitamento

As dificuldades de aprendizagem nas escolas públicas da Educação Básica são de diversos fatores. Um dos impedimentos de uma ação efetiva é a reduzida carga horária (geralmente de 2 aulas semanais de Física). “Os professores da área das ciências queixam-se do número reduzido de aulas que passaram a ter em suas disciplinas.” (ZYLBERSZTAJN, 2002).

Temos muitos conteúdos previstos, mas a baixa carga horária acaba levando a “uma considerável redução dos assuntos a serem trabalhados e dificulta qualquer inovação na prática pedagógica, já que a flexibilidade de tempo é prejudicada.” (ZYLBERSZTAJN, 2002).

Outro problema enfrentado é o tempo de aula que é gasto com indisciplina e atividades burocráticas: “De aula mesmo, ensinando os alunos, o percentual de tempo gasto em sala no Brasil é 67% enquanto a média internacional é de 79%” (YAMAMOTO, 2014). Muitas vezes, esses problemas ultrapassam os muros das escolas, pois “não se vê a indisciplina como um fenômeno intrínseco da relação

⁶Fonte: elaborada pelo autor.

cotidiana entre professores e alunos, que é permeada pela cultura e por valores sociais” (SANTOS, 2012).

Um caso cada vez mais comum de indisciplina é o uso de aparelhos celulares dentro da sala de aula. Esse problema levou o Governo do Estado do Paraná a adotar uma lei “sobre a proibição do uso de aparelhos/equipamentos eletrônicos em salas de aula para fins não pedagógicos no Estado do Paraná” (PARANÁ, 2014). Porém a lei não esclarece as punições ou de quem é a responsabilidade de fazer a fiscalização.

1.2.2 Aversão dos alunos aos cálculos

Existe uma repulsa dos nossos alunos em enfrentar os cálculos. “O medo, a fuga, a esquiva e o bloqueio com relação à matemática são gerados por um episódio traumático ou por ansiedade passada culturalmente.” (DE MATTOS, 2013). São recorrentes as avaliações internacionais que evidenciam a matemática como um problema no Brasil:

Em um dos mais completos rankings mundiais de qualidade de Educação, a OCDE mostra a relação entre Educação e crescimento econômico. A organização analisou 76 países ricos e pobres. Isso representa o total de um terço das nações do mundo. O Brasil figura em um distante 60º lugar, próximo das nações africanas. [...] O ranking foi estabelecido com base em resultados de testes de matemática e ciências aplicados nesses países (TODOS PELA EDUCAÇÃO, 2015).

Em nossa atuação como professores de Física, existe sempre a necessidade de revisar conteúdos de matemática básica aos alunos: divisão com números decimais, resolução de equações de 1º grau, trigonometria, geometria etc.

Pode-se perguntar, então, por que as pessoas não gostam da Matemática, se sua natureza é auxiliar o entendimento e se ela está presente na vida social? Um dos problemas mais sérios no ensino da Matemática é que ela tem sido pensada e tratada por professores distante da realidade do aluno. Além disso, os professores encontram em sala de aula diversos obstáculos, sendo a falta de entusiasmo dos alunos um dos mais difíceis de ser resolvido (PREDIGER, 2013).

Nesse ponto, Prediger (2013) aponta uma vantagem da Física, levar os números a fazer sentido no entendimento da natureza, pois os números, através dos cálculos, possibilitam descobertas grandiosas sobre fenômenos naturais. Na mecânica quântica podemos citar, como exemplo, a possibilidade de calcularmos a temperatura de um corpo incandescente pela sua cor.

1.2.3 Desinteresse dos alunos

Procuramos, então, levar os cálculos simples a se transformarem em conclusões interessantes e assim transformar a triste realidade no ambiente escolar descrito por Moura (2013), em que a apatia e a falta de vontade são características dos adolescentes e que ficam mais à mostra na sala de aula. Esse fato acaba sendo decepcionante no dia-a-dia do professor de Ensino Médio, porque “são muito poucos os que se preocupam com os estudos. Esses estudantes que antes formavam ‘a maioria’ passaram a ser a minoria” (PREDIGER, 2013).

Qual é então a função da escola? Boa parte “vão ao colégio para se divertir, estar com os colegas, passar um tempo agradável; ‘isto não é divertido’, dizem muitos alunos durante as aulas” (PREDIGER, 2013). Já para os professores, fazer a escola ser divertida ou interessante é um grande desafio.

Muito desse desinteresse dos alunos surge pelo fato de as escolas evitarem ao máximo a reprovação dos alunos, “a prática da não-retenção escolar não apenas tem sido incapaz de reduzir as desigualdades de oportunidades educacionais, como chega mesmo a ampliá-las, na medida em que propicia aos alunos o prosseguimento do curso escolar sem a aquisição de conhecimentos” (GLÓRIA, 2006).

Muitas vezes, encontramos a resistência de alunos em tentarem aprender, por receio do seu próprio fracasso escolar. Também “existem professores que podem “bloquear” ou “motivar” a aprendizagem através do tipo de inter-relação desenvolvido entre ele e o aluno, o que determina a relação afetiva envolvida nesse processo” (DE MATTOS, 2013).

1.3 Soluções propostas

Os problemas que se apresentam no ensino de Física não são novos e aparecem também em outras disciplinas do Ensino Médio. Para combatê-los, discorreremos acerca de algumas propostas:

- i. Adaptar o vocabulário do professor ao entendimento do aluno;
- ii. Fazer que o assunto seja compreendido pelos alunos, ao invés de memorizado;
- iii. Buscar relacionar os conteúdos a se ensinar, para que façam algum sentido para a realidade presente ou futura do aluno, evitando que a avaliação seja a única motivação para que o aluno estude;
- iv. Manter um ritmo de aula de forma que todos os alunos possam acompanhar o raciocínio exigido pelo conteúdo;
- v. Apresentar o conteúdo como algo possível de ser compreendido, fazendo que o aluno não tenha de imediato medo do próprio fracasso escolar, para não criar uma negação em participar das atividades propostas.

Agindo assim, busca-se combater o mito da dificuldade de se aprender Física. “A busca de solução para essa problemática passa, necessariamente, por uma renovação da escola. É preciso que essa escola se torne um espaço motivante” (SILVIA, 2005).

Não devemos ignorar que muitos problemas alheios à ação do professor são empecilhos para a boa aprendizagem, tais como problemas de estrutura nas escolas, problemas familiares, sociais e econômicos. Faz-se necessária uma “mudança nos mais diversos níveis, incluindo as práticas pedagógicas, o currículo, o sistema educativo e a própria sociedade em geral” (SILVIA, 2005).

Como então adequar o velho ao novo? Zanetic reflete sobre a função da escola que organiza seus conteúdos para a simples preparação para exames de vestibular em detrimento da formação de um cidadão crítico:

Não proponho, de forma alguma, dois tipos de escola de segundo grau, mas insisto que é à escola pública que o educador deve voltar sua preocupação e seu trabalho, especialmente no que toca ao ensino médio, pois é nela que mais gravemente se concentram problemas de toda ordem e é ela que lida com aquela importante (mas ainda pequena) parcela de jovens brasileiros que, a despeito de suas desvantagens econômicas e culturais terminaram, nas condições que

se conhece, o primeiro grau, e buscam uma continuidade necessária em sua formação geral (ZANETIC, 1989).

Em relação à necessidade de uma mudança gradativa do meio escolar, Libâneo (1998), defensor da escola pública de qualidade, continua nessa mesma linha de pensamento, pontuando que continuarão presentes nas escolas o quadro-negro e os cadernos, mas que não podemos ignorar os veículos de comunicação como fontes de conhecimento, alertando para a figura do professor se tornando a representação de algo ultrapassado.

Os recursos audiovisuais vêm para enriquecer as possibilidades de aprendizagem. Em uma aula, em vez de termos apenas o professor que fala e os alunos que tentam imaginar o ocorrido, temos vídeos e simulações em que a aprendizagem se torna mais motivadora. Assim, com novos instrumentos o professor terá a chance de problematizar, desafiando os educandos a se interessar pelo conhecimento.

Libâneo (2001) propõe um conhecimento que seja libertador, que desenvolva a consciência crítica, acreditando que isso sirva de motivação para a aprendizagem. A “educação problematizadora” deve oferecer ao aluno uma situação-problema para que este tenha tempo para analisar criticamente. “Esta análise envolve o exercício da abstração, através da qual procuramos alcançar, por meio de representações da realidade concreta, a razão de ser dos fatos” (LIBÂNEO, 2001).

Intencionamos atribuir real significado à busca de conhecimento, um conhecimento que sirva para que o aluno questione a sua realidade, Aquino caso da Física a sua realidade material. Entretanto, o exercício do questionar verdades, até então concebidas pelo próprio aluno como absolutas, deve servir como pontapé inicial para outros questionamentos de seu dia-a-dia.

Dessa forma, acreditamos que o aluno ficaria predisposto para enfrentar o desconhecido, saindo da sua zona de conforto para buscar novas reflexões, se tornando intelectualmente pronto para ser mais crítico para "mudar o *statu quo*", que é do que vive a história da humanidade.

Capítulo 2

A elaboração do curso-piloto

O curso-piloto foi pensado para ser uma maneira eficaz de se ensinar um conteúdo tão desafiador para alunos de escola pública, muitas vezes desmotivados em querer aprender. Buscamos um objetivo central para o ensino da Mecânica Quântica: o aluno ter contato com o conhecimento envolvido no funcionamento das tecnologias disponíveis em seu dia-a-dia, com estratégias de uso de:

- i. Materiais audiovisuais e imagens, em detrimento de textos;
- ii. Dicionários e pesquisas em meios eletrônicos para reforçar conceitos;
- iii. Linguagem matemática acessível.

Como auxílio para o ensino, os alunos realizaram atividades de pesquisas, relatórios de experimentos virtuais e listas de exercícios. Tiveram aulas expositivas sobre o conhecimento científico conquistado pelo ser humano. Para a avaliação dos resultados, aplicamos um pré-teste e um pós-teste, buscando avaliar mudanças nas concepções dos estudantes.

2.1 Atividades Elaboradas

Para sequenciar o andamento das aulas, elaboramos atividades que poderiam durar menos de uma aula, ou várias. A proposta de duração de cada atividade se encontra no próximo tópico.

Resumo das atividades Apêndice A:

- i. Pré-teste;
- ii. Discussão;
- iii. Pesquisa de conceitos básicos da Física;
- iv. Tabela de grandezas de medidas;
- v. Relações matemáticas de alguns conceitos da ondulatória;
- vi. Pesquisa de conceitos da Mecânica Quântica;
- vii. Simulações computacionais;
- viii. Aulas expositivas sobre Mecânica Quântica;
- ix. Pós-teste.

Também elaboramos um breve texto complementar Anexo A, onde o leitor pode usar para um melhor entendimento do assunto abordado nas aulas preparadas em slides.

Capítulo 3

Aplicação do curso e análise dos resultados

O curso-piloto foi aplicado no Colégio Estadual Romário Martins, que atende uma área predominantemente agrícola, distribuída por um grande raio do território do Município de Marialva, PR, pois além dos alunos residentes no distrito de Aquidaban, onde se localiza o colégio, recebe alunos dos distritos de São Miguel do Cambuí e São Luiz, das comunidades Santa Luzia e Jacanã, bem como das chácaras, sítios e fazendas que se localizam nesses distritos e comunidades.

O curso durou o 3º bimestre do ano de 2015, aplicado junto à turma do 3º ano do Ensino Médio. O ano da aplicação do curso foi atípico na rede de ensino no estado do Paraná devido aos 44 dias de greves que ocorreram entre abril e junho daquele ano. O curso iniciou dia 16 de setembro e terminou dia 13 de novembro do mesmo ano, e teve uma carga horária de 20 horas-aulas, respeitando o andamento normal do calendário escolar, não sendo realizada nenhuma atividade em contraturno.

Realizamos um pré-teste e um pós-teste, sem que os alunos fossem avisados de que o teste seria repetido e nem como haviam se saído no pré-teste. A extensão do teste também fazia com que fosse difícil se lembrar de alguma questão dois meses após. As questões aplicadas se encontram no Anexo B.

As questões objetivaram verificar a assimilação dos conceitos de Mecânica Quântica, sem contar com questões em que fosse necessária a realização de cálculos. O uso da matemática não foi esquecido durante o curso, e foi de muita utilidade para a melhor compreensão dos conceitos quânticos.

Os testes foram realizados com vinte e cinco alunos, porém dois faltaram no dia do pré-teste e outros dois faltaram no dia do pós-teste, restando assim vinte e um alunos que serviram para a elaboração dos dados deste trabalho.

As Figuras 5 e 6 mostram como os alunos se saíram na questão referente ao elétron ser uma onda ou uma partícula:

Pré-teste

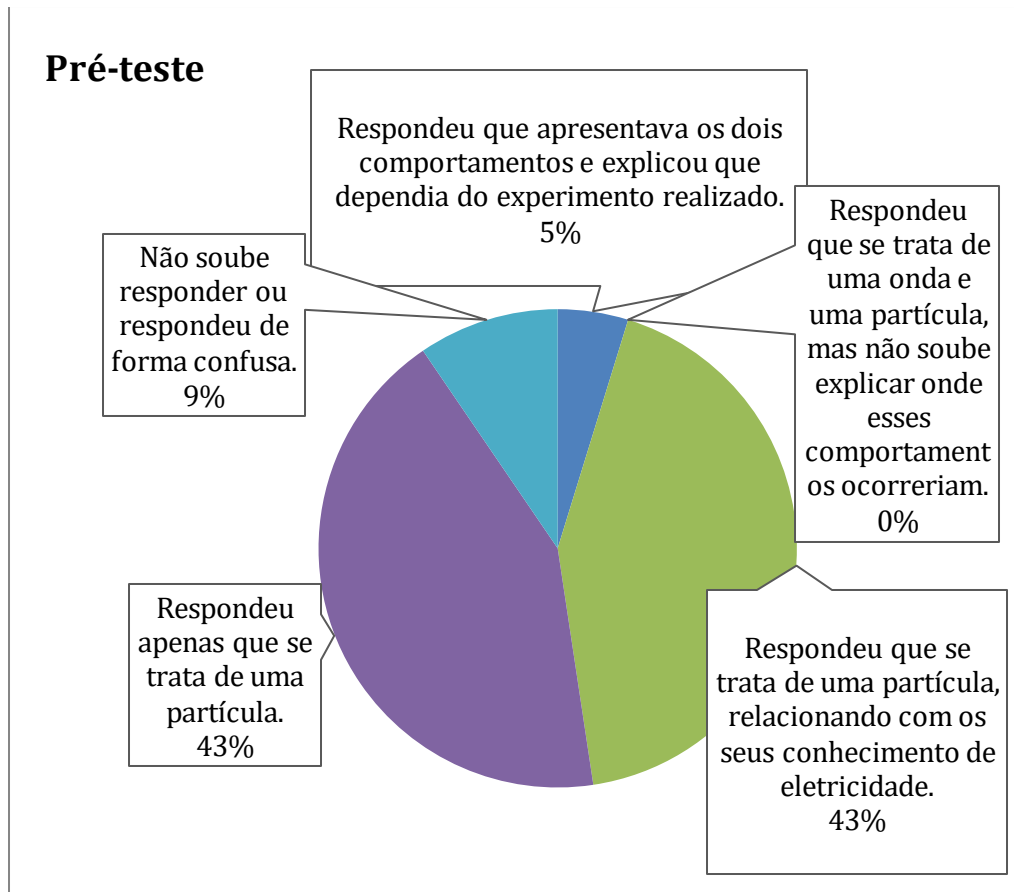


Figura 5. Respostas da primeira pergunta no pré-teste⁷.

Na verificação preliminar dos conhecimentos, existe a predominância do conhecimento recém-adquirido no estudo da eletricidade, que estudava o elétron como uma carga elétrica. Já no pós-teste, como indica a Figura 6, a seguir:

⁷Fonte: elaborada pelo autor.

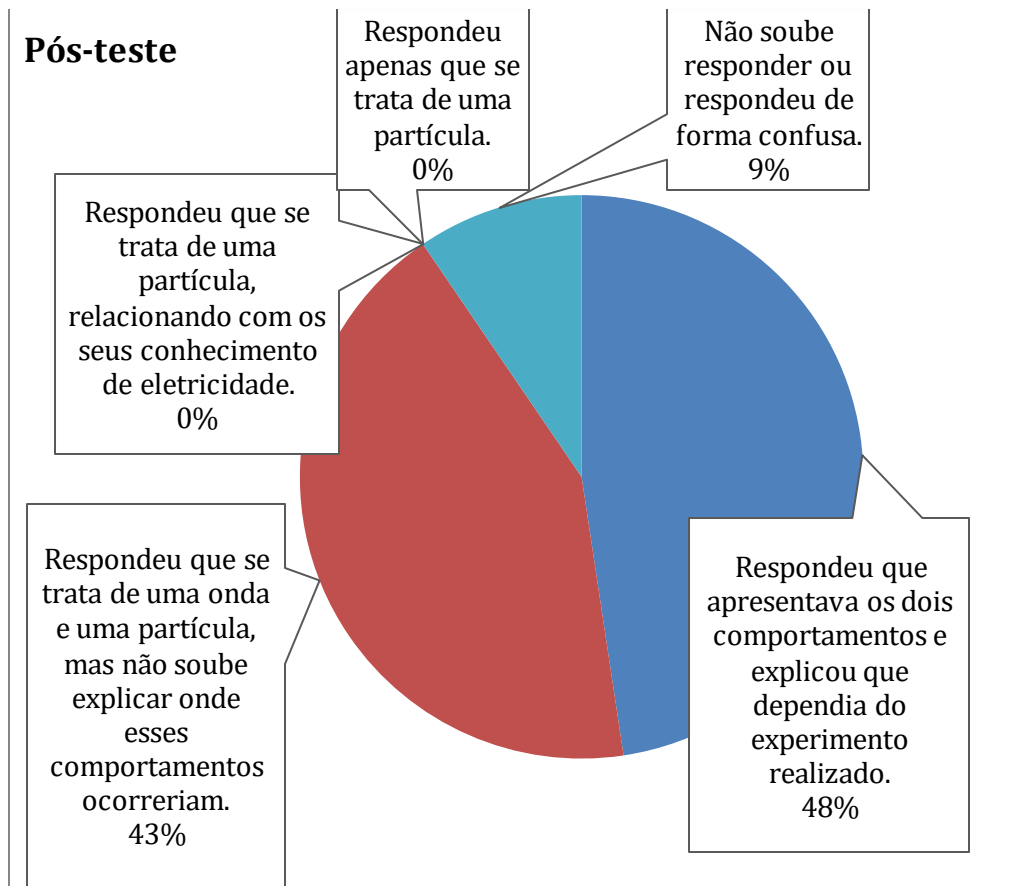


Figura 6. Respostas da primeira pergunta no pós-teste⁸.

Verificamos que apenas 9% dos alunos não souberam absorver o principal enigma do curso, que era entender a dualidade onda-partícula. Já a resposta esperada, como bom entendimento da dualidade, passou de 5% para 48%, mostrando que os questionamentos durante o curso sobre a natureza da luz foram bem compreendidos e levaram-nos a questionar a natureza do elétron.

A partir da segunda até a décima segunda pergunta, as questões eram de múltipla escolha; fizemos as comparações quantitativas dos acertos (Tabela 1).

⁸Fonte: elaborada pelo autor.

Tabela 1. Resultados obtidos nas questões de múltiplas escolhas⁹

Número da questão	Acertos no Pré-teste	Acertos no Pós-teste	Variação Percentual
2	8	19	138%
3	3	18	500%
4	7	16	129%
5	4	5	25%
6	4	19	375%
7	4	20	400%
8	7	17	143%
9	1	9	800%
10	2	8	300%
11	7	11	57%
12	2	9	350%
Total	49	151	208%

Notamos uma pequena evolução na questão de número 5, que perguntava sobre a relação cor (frequência) e energia, evidenciamos que faltou trabalhar o pré-conceito que o vermelho não é a cor mais energética (sendo justamente o contrário).

No geral, os resultados foram muito positivos, havendo boa vontade dos alunos em contribuir com a pesquisa, porém nada que saísse de sua rotina em tentar se dedicar mais a esse conteúdo em detrimento dos demais. Na Figura 7, verificamos a melhoria do aproveitamento da avaliação como um todo.

⁹Fonte: elaborada pelo autor.

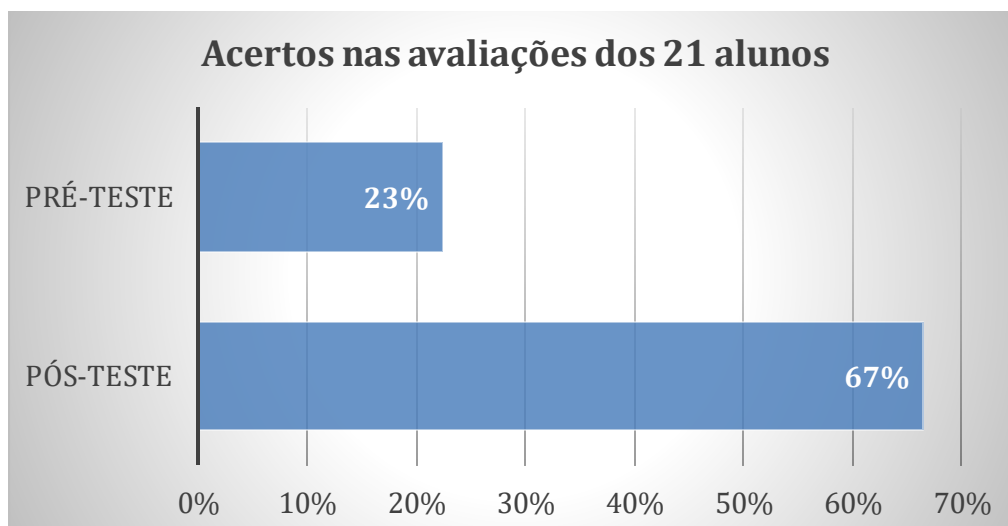


Figura 7. Evolução média dos resultados nas doze questões¹⁰.

Devemos considerar que nos testes, por se tratar de questões de vestibulares, tivemos um grande aproveitamento. Observamos, na Figura 8, o rendimento individual, que no pré-teste apresenta acertos dentro da margem do “chute” (uma a cada cinco questões):

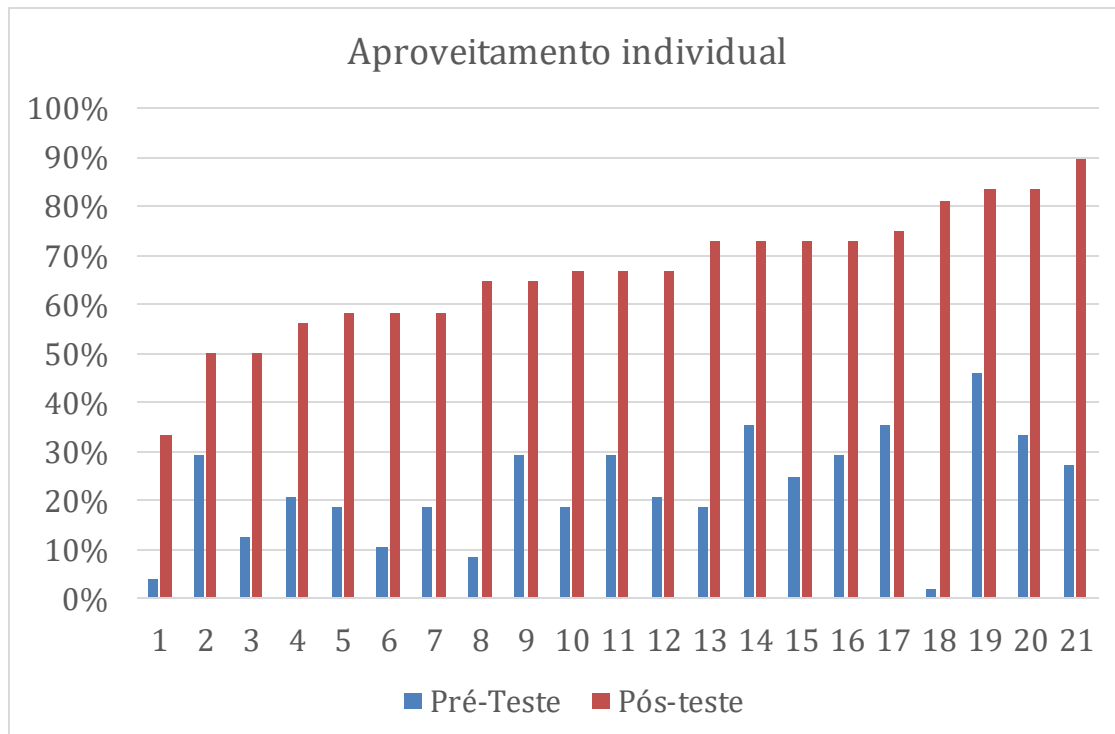


Figura 8. Evolução individual dos resultados nas doze questões¹¹.

¹⁰Fonte: elaborada pelo autor.

¹¹Fonte: elaborada pelo autor.

Todos os alunos apresentaram melhoras significativas na capacidade de interpretar questões de Mecânica Quântica. Verificamos também que a avaliação foi condizente com o curso proposto, exigindo um nível de conhecimento de processos seletivos de vestibulares.

Capítulo 5

Considerações Finais

Os resultados obtidos na aplicação da sequência didática apontam que é possível ensinar Mecânica Quântica para uma clientela jovem, oriunda da escola pública, com dificuldades de aprendizagem especialmente em matemática. Constatamos acertada a opção pelo uso de uma linguagem mais acessível e menos matematizada.

O uso de tecnologias para o ensino de Mecânica Quântica se mostrou bastante favorável. O uso de imagens e vídeos (em detrimento das explicações puramente textuais e orais) facilitou e motivou os alunos em se dedicar mais às aulas. O assunto por si só já interessa os alunos que possuem gosto por ficção científica ou mesmo sobre a história da 2ª Guerra Mundial, marcada pelo uso da bomba atômica.

Foi possível mostrar aos alunos como a ciência se desenvolve, erra, revê seus conceitos. Este foi um ponto que oportunizou uma visão mais ampla sobre a construção humana que é a ciência. Esperamos ter contribuído com uma nova abordagem e que os alunos do Ensino Médio saiam com boas noções de como a Mecânica Quântica se consolidou no início do século passado.

Referências Bibliográficas

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 4v, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

CASTILHO, Wagner Maciel et al. ESTUDO SOBRE ENSINO DE FÍSICA MODERNA EM DUAS ESCOLAS PÚBLICAS DE ENSINO MÉDIO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. 2007.

COLORADO, University of. PhET Interactive Simulations. Disponível em: <https://phet.colorado.edu>. Acesso em: 10 ago. 2016.

DA SILVA, André Coelho; DE ALMEIDA, Maria José Pereira Monteiro. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 28, n. 3, p. 624-652, 2011.

DE ALMEIDA, Maria Elizabeth Bianconcini. Tecnologia na escola: criação de redes de conhecimentos. 2005.

DE ANDRADE, Rodrigo Pinto et al. O uso de TIC na disciplina de Química: análise de um simulador para o ensino de Petróleo. 2010.

DE MATTOS, Sandra Maria Nascimento. Gostar ou desgostar e a ansiedade à matemática: um estudo de caso com uma aluna do oitavo ano do ensino fundamental. Actas del VII CIBEM ISSN, v. 2301, n. 0797, p. 2840, 2013.

DE OLIVEIRA, Fabio Ferreira; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

DE SOUZAA, Denise Ferreira; DE SOUSAB, Francisco Ferreira. Análise nos livros de Física adotados no município de Altamira.

DOS REIS SILVA, Yasmin Alves et al. Cenários de ensino de Física diferenciados: uma proposta de atividade para o estágio supervisionado. 2013.

FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido. 17ª. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, v. 3, 1987.

GASPAR, Alberto. Física, volume único. São Paulo: Ática, 2005.

GLÓRIA, Dília Maria Andrade. A escola dos que passam sem saber: a prática da não-retenção escolar na narrativa de alunos e familiares. Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação, 2006.

GOUVÊA, Guaracira; LEAL, Maria Cristina. Uma visão comparada do ensino em ciência, tecnologia e sociedade na escola e em um museu de ciência. Ciência & Educação, v. 7, n. 1, p. 67-84, 2001.

LIBÂNEO, José Carlos. Adeus professor, adeus professora?: novas exigências educacionais e profissão docente. 2. ed. São Paulo, SP : Cortez, 1998.

LIBÂNEO, José Carlos. Democratização da escola pública. Edições Loyola, 2001.

NISENBAUM, Moisés André. Estrutura Atômica. Disponível em: http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_estrutura_atmica.pdf.

Acesso em: 10 ago. 2016.

NOBRE, Eloneid F. et al. Como a Física Moderna está Inserida no Ensino Médio?. XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa " Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre. Vol. 5, n. 1 (jan./abr. 2000), p. 23-48, 2000.

PARANÁ, Conselho Estadual de Educação. Deliberação nº 007/99. Normas gerais para a avaliação do aproveitamento escolar, recuperação de estudos e promoção de alunos do sistema estadual de ensino, em nível Fundamental e Médio, 1999.

PARANÁ, Casa Civil do Governo do Estado. Lei Estadual nº 18.118/2014-PR. Disponível em: <http://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=123359>. Acesso em: 20nov. 2016.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação Diretrizes Curriculares da Educação Básica. Física. 2008.

PATY, Michel. O estilo científico de Einstein na exploração do domínio quântico (uma visão da relação entre a teoria e seu objeto). *Scientiae Studia*, v. 3, n. 4, p. 597-619, 2005.

PETROCOLA, M. Física-conceitos e contextos. São Paulo: FTD, v. 3, 2013.

PIERSON, A. H. C.; HOSOUME, Y. O cotidiano, o ensino de física e a formação da cidadania. In: I Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. 1, Atas... Porto Alegre: Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio?. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

PONTE, J. P. da e SERRAZINA, L. As novas tecnologias na formação inicial de professores. Lisboa p. 9 – 10, 1998

POPPOVIC, Pedro Paulo. Educação a distância: problemas da incorporação de tecnologias educacionais modernas nos países em desenvolvimento. *Aberto*, p. 5-8, 1996.

PREDIGER, Juliane; BERWANGER, Luana; MÖRS, Marlete Finke. Relação entre aluno e matemática: Reflexões sobre o desinteresse dos estudantes pela aprendizagem desta disciplina. *Destaques Acadêmicos*, v. 1, n. 4, 2013.

RAASCH, Leida. A motivação do aluno para a aprendizagem. *Revista Universo Acadêmico*, v. 10, 2006.

ROSSO, Ademir José; CAMARGO, Brigido Vizeu. As representações sociais das condições de trabalho que causam desgaste aos professores estaduais paranaenses. *ETD-Educação Temática Digital*, v. 13, n. 1, p. 269-289, 2011.

SALINAS, Silvio RA. Einstein, o atomismo e a teoria do movimento browniano. *Revista USP*, n. 66, p. 38-43, 2005.

SANTOS, Edvander Ramalho dos; ROSSO, Ademir José. A indisciplina escolar nas representações sociais de professores paranaenses. *Psicologia da Educação*, n. 34, p. 127-157, 2012.

SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira; KEPLER, Souza Oliveira; MULLER, Alexei Machado. Aula 16: Teoria da Radiação. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/fis2010/Aula16-132.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

SILVA, José Augusto Florentino da. Refletindo sobre as dificuldades de aprendizagem na matemática: algumas considerações. Artigo) Universidade Católica de Brasília–UCB. Brasília–DF, 2005.

SIQUEIRA, Maxwell; PIETROCOLA, M. Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. São Paulo: IF/FE USP, 2006.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TODOS PELA EDUCAÇÃO. Ásia no topo do ranking da Educação. Disponível em: <http://www.todospelaeducacao.org.br/educacao-na-midia/indice/33668/asia-no-topo-do-ranking-da-educacao>. Acesso em 19 out. 2016.

TOMKELSKI, Mauri Luís; RICHIT, Adriana. Modelagem Computacional no Ensino de Matemática e Física. 2007

VIANA, Gilmar José. A importância do conhecimento e da prática docente para lidar com a indisciplina escolar. 2014.

YAMAMOTO, Karina. Professor brasileiro gasta 20% do tempo de aula com indisciplina. Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/noticias/2014/06/25/professor-brasileiro-gasta-20-do-tempo-de-aula-com-indisciplina-segundo-estudo-da-ocde.htm>.

Acesso em: 10 ago. 2016.

ZANETIC, J. Física Também é Cultura. Tese (Doutorado em Educação), Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1989.

ZYLBERSZTAJN, Arden; RICARDO, Elio Carlos. O Ensino das Ciências no Nível Médio: um estudo sobre as dificuldades na implementação dos Parâmetros Curriculares Nacionais. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 19, n. 3, p. 351-370, 2002.

Apêndice A
Produto da Dissertação



SEQUÊNCIA DIDÁTICA SOBRE MECÂNICA QUÂNTICA PARA O ENSINO MÉDIO

Eduardo Alexandrino Ávila

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF).

Orientador:
Dr. Luciano Gonsalves Costa

Maringá, PR
Dezembro de 2016

Apresentação

Caro(a) professor(a),

Este Apêndice reproduz o Produto Educacional da pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Este produto é uma sequência didática sobre tópicos de Mecânica Quântica aplicada no 3º ano do Ensino Médio.

Todas as atividades destinadas aos estudantes acompanham esse material e os recursos computacionais utilizados na sistematização do conteúdo estão disponíveis na internet.

Sumário

Os Desafios na Elaboração da Sequência Didática de Mecânica Quântica para o Ensino Médio	29
Objetivo Geral	30
Objetivos Específicos	30
Difusão do curso	30
Roteiro da Sequência Didática	30
Planejamento das aulas e avaliações	56
Conclusão	58

Os Desafios na Elaboração da Sequência Didática de Mecânica Quântica para o Ensino Médio

A escolha mais óbvia da sequência dos conteúdos, seria a histórica. Tentamos fazer isso, sem perder o “fio da meada”, tentando uma sequência que não fizesse o aluno se perder. Caso a sequência histórica e lógica entrasse em conflito, buscaríamos inserir algumas revisões resumidas para ajudar o aluno. Observamos que a maioria dos alunos estudava somente em véspera de prova (DOS REIS SILVA, 2013).

Nosso desafio foi conciliar uma formação em Mecânica Quântica (provavelmente a primeira e a última do público alvo) que fosse ao mesmo tempo abrangente e resumida, com noções da importância da matemática e simples; visualmente atraente e que não se perdesse na superficialidade.

Os conteúdos norteadores de Mecânica Quântica foram:

- i. Radiação de Corpo Negro e a Equação de Planck;
- ii. A Dualidade onda-partícula e o Efeito Fotoelétrico;
- iii. Movimento Browniano e a Estrutura da Matéria;
- iv. Postulados de Borh;
- v. Hipótese de De Broglie;
- vi. Princípio da Incerteza de Heisenberg.

Elaboramos uma sequência do que julgamos ser essencial. Ao observar outros livros usados no Ensino Médio, comparando-os com os famosos livros de Física do Ensino Médio de Alberto Gaspar e Maurício Pietrocola, mas devido à falta de tempo foi necessário não abordar todos os conteúdos, como, por exemplo: antimatéria, Física de Partículas, spin do elétron, princípio de exclusão e as forças fundamentais. Em relação a outros autores citados por Ostermann e Moreira (2000), temos: laser, radioatividade, supercondutores, semicondutores, fissão e fusão nuclear.

Pontuamos que estes autores costumam trabalhar Mecânica Quântica e Relatividade em um mesmo capítulo, e trabalham a Física Moderna de uma maneira geral. Não foi nosso objetivo “misturar” os dois conteúdos, acreditamos que mesmo historicamente contemporâneos esses assuntos devem ser trabalhados separadamente.

Destacamos que esse curso foi pensado para ter a duração de um bimestre usual da rede pública, que costuma abranger 20 aulas (2 aulas por semana), sem contar com

algum imprevisto ou com feriados, semanas de jogos, palestras.... É normal acontecer de um professor com a mesma carga horária dar mais aula em uma mesma turma que outro professor. O número de aulas do primeiro bimestre também costuma ser maior.

Objetivo Geral

Promover uma visão geral e introdutória sobre a Mecânica Quântica e suas aplicações em ferramentas tecnológicas.

Objetivos Específicos

Ao final do curso, esperamos que o aluno desenvolva uma nova interpretação sobre:

- i. Explicações para o comportamento da energia;
- ii. A falibilidade da ciência em propor ideias absolutas para explicar a natureza;
- iii. Questões aparentemente ilógicas da Mecânica Quântica;
- iv. Tenha contato com um conhecimento desafiador, mas que pode ser abordado com uma linguagem mais acessível.

Difusão do curso

A exposição desse curso também pode ser encontrada no link:
<http://mecquant.blogspot.com.br>.

Roteiro da Sequência Didática

Atividade 1: Pré-teste

A atividade se encontra no Anexo B.

Atividade 2: Discussão

“De onde e para que surgiu a Mecânica Quântica?”. O professor dialoga com os alunos para verificar quais as suas concepções sobre o átomo e qual a necessidade de explicar o seu comportamento.

Sugestão de perguntas:

- O que vem à cabeça de vocês quando se fala em “Mecânica Quântica”?
- O que é o átomo?
- Como se comporta o elétron?
- O que o comportamento dos elétrons pode criar?
- Quais tecnologias do dia-a-dia vocês acreditam que estejam relacionadas com a Mecânica Quântica?
- Vocês se consideram conhecedores da tecnologia que manuseiam?
- Gostariam de conhecer mais sobre o mundo quântico?

Atividade 3: Pesquisa de conceitos básicos da Física

Os alunos terão à disposição um dicionário e/ou um computador com acesso à internet, que os ajudarão a enriquecer o vocabulário e refletir entre os diferentes usos de um mesmo conceito, dando oportunidade do avanço independente do aluno em buscar o conhecimento e rever seus conhecimentos.

Lista de conceitos propostos para serem pesquisados pelos alunos

- Massa (m);
- Velocidade (v);
- Momento (p);
- Período (T);
- Frequência (f);
- Comprimento de onda (λ);
- Energia (E);
- Temperatura (t).

Atividade 4: Tabela de grandezas de medidas

Os alunos constroem uma tabela com grandezas, unidades padrões e símbolos para as medidas.

Tabela 1. Grandezas, unidades padrões e símbolos para as medidas que os alunos devem preencher¹²

Grandezas de medida	Símbolo	Unidades de medida	Símbolo
Massa	m	Quilograma	kg
Velocidade	v	metro por segundo	m/s
Momento	p	quilograma vezes metro por segundo	kg.m /s
Período	T	segundo	s
Frequência	f	hertz	Hz
Comprimento de onda	λ	metros	m
Energia	E	joule	j
Temperatura	t	kelvin	K

Atividade 5: Relações matemáticas de alguns conceitos da ondulatória

Usando símbolos para os conceitos, os alunos pesquisam relações matemáticas entre:

- Momento, massa e velocidade;
- Período e frequência;
- Velocidade, comprimento de onda e frequência.

Atividade 6: Pesquisa de conceitos da Mecânica Quântica

Os alunos terão à disposição um dicionário e/ou um computador com acesso à internet, que os ajudarão a enriquecer o vocabulário e refletir entre os diferentes usos de um mesmo conceito, dando oportunidade do avanço independente do aluno em buscar o conhecimento e rever seus conhecimentos.

Lista de conceitos relacionados com a Mecânica Quântica para serem pesquisados pelos alunos:

¹²Fonte: elaborada pelo autor.

- Voltagem;
- Fóton;
- Ondas eletromagnéticas;
- Radiação;
- Luz;
- Difração;
- Interferência;
- Átomo;
- Elétron;
- Contínuo;
- Quantizado;
- Partícula;
- Infravermelho;
- Fotoelétrico;
- Quântico;
- Contínuo;
- Aleatório;
- Emissão;
- Absorção.

Atividade 7: Relatórios de simulações computacionais

Usando computadores, os alunos terão a oportunidade de realizar simulações de experimentos virtuais de Mecânica Quântica.

As simulações são na maioria aplicações em java¹³, produzidas pela Universidade do Colorado em Boulder – USA – Projeto *PhET*¹⁴. (*Physics EducationTechnology*). As simulações são de livre distribuição.

Link para download das simulações em java usadas no curso:

<https://sites.google.com/site/galileueinstein/home/Simula%C3%A7%C3%B5es%20em%20java.rar?attredirects=0&d=1>

Comentários sobre as simulações utilizadas:

¹³Disponíveis no endereço eletrônico: <https://phet.colorado.edu>.

¹⁴ O nome PhET é marca registrada, Copyright © 2016 The Regents of the University of Colorado. All rights reserved

- Espectro do corpo negro: A frequência da radiação emitida depende da temperatura do corpo negro;
- Interferência Quântica: A luz possui um comportamento ondulatório, quando se realiza um experimento em que ela possa se interferir;
- Moléculas e Luz: Ondas eletromagnéticas são capazes de fazer com que moléculas se agitem e emitam outras ondas;
- Lâmpadas de descarga: Uma corrente elétrica é capaz de excitar os átomos de um gás, fazendo-o emitir luz, essa luz ocorre a partir de uma determinada voltagem;
- Fotoelétrico: A luz é capaz de criar a emissão de elétrons num metal, essa emissão não ocorre para qualquer cor (frequência) de luz.

Atividade 8: Aulas expositivas sobre Mecânica Quântica

Aulas montadas em slides e com uso de vídeos online.

Links dos vídeos usados entre os slides estão hospedados na internet em um site de hospedagem de vídeos gratuitos:

Vídeo 1: <https://youtu.be/4t1C6T9LNCY>

Vídeo 2: <https://youtu.be/fdQaJQaMm6k>

Vídeo 3: <https://youtu.be/dEwRG9EpWzY>

Vídeo 4: <https://youtu.be/ovZkFMuxZNC>

Vídeo 5: <https://youtu.be/ZXyxnxnWAAQ>

Vídeo 6: <https://youtu.be/2Vdjin734gE>

Vídeo 7: <https://youtu.be/pNg-R7k3Kh0>

Vídeo 8: https://youtu.be/63gBrFI_hM


Vídeo 9: <https://youtu.be/UTdy1Yp1h5A>

Vídeo 10: <https://youtu.be/wIEhSIt1oEI>

Vídeo 11: <https://youtu.be/2NuLa29WKnI>

Cada Slide escuro e sem texto a seguir é o espaço destinado a cada um dos vídeos “linkados”, a identificação de cada vídeo também se encontra em cada slide anterior:

Mecânica Quântica

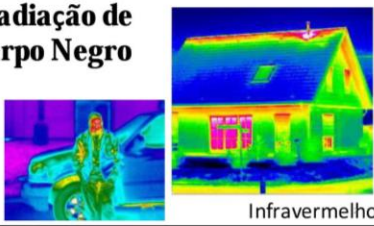


Portrait of the American Institute of Physics

FIG. 37-1 Einstein posando para uma fotografia quando estava começando a ficar conhecido. (Corbis Images)

Problema que antecedeu a Mecânica Quântica:

-Radiação de Corpo Negro



Infravermelho



Vídeo: infrared camera for building and home inspection



Energia e frequência de uma onda



Energia interna de um Gás ideal monoatômico

$$U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot T$$

Para a Física antes de 1900, a energia média de uma onda eletromagnética à temperatura **T** seria simplesmente dada por **E = kT**.

Figura 1. Slides de 1 a 6: apresentação do problema inicial da Mecânica Quântica, a radiação de corpo negro e as ideias clássicas sobre a energia¹⁵.

¹⁵ Fonte: elaborado pelo autor.

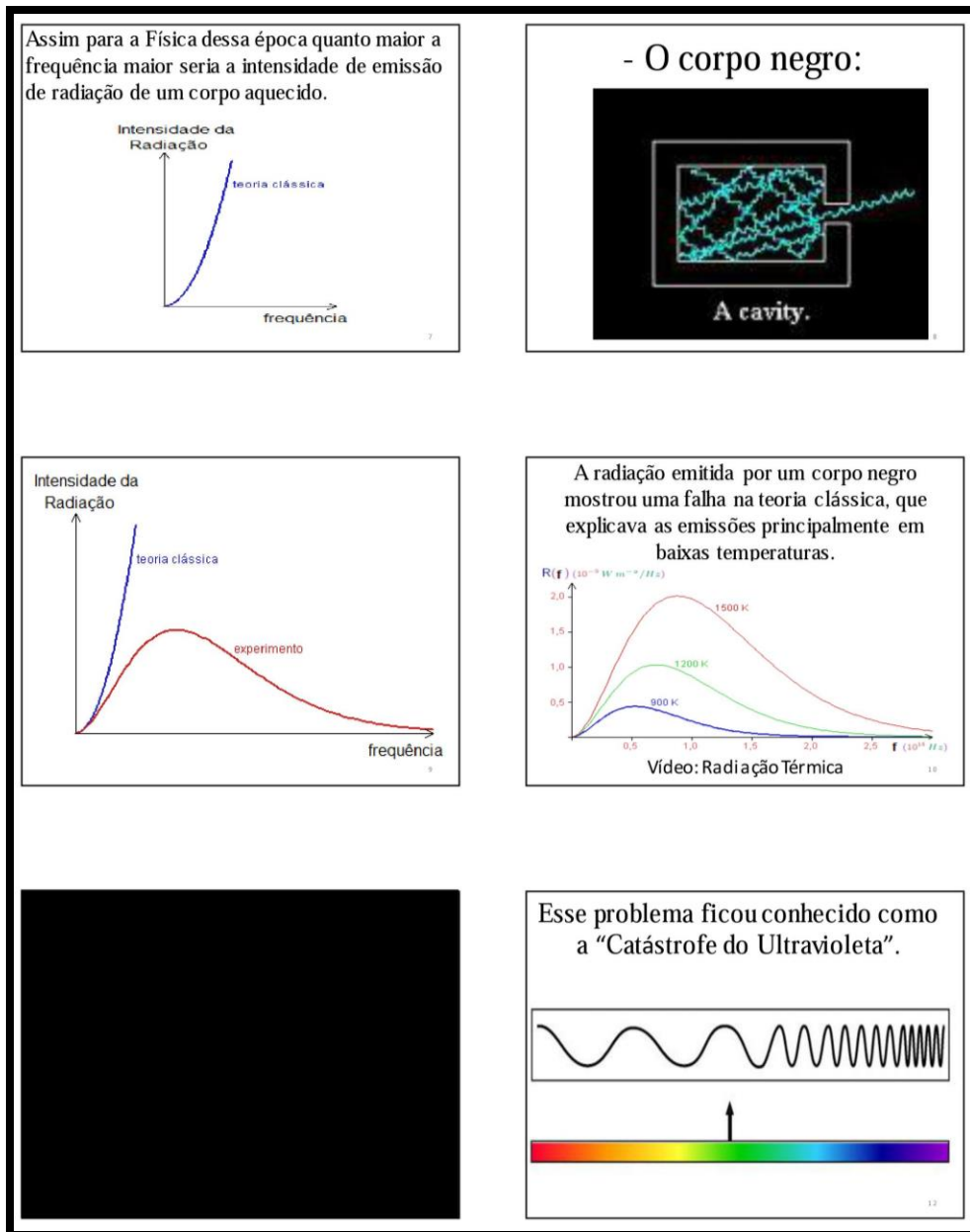


Figura 2. Slides de 7 a 12: visões da teoria clássica e do experimento sobre a radiação de corpo negro, como resultado da “Catástrofe do Ultravioleta”¹⁶.

¹⁶ Fonte: elaborado pelo autor.

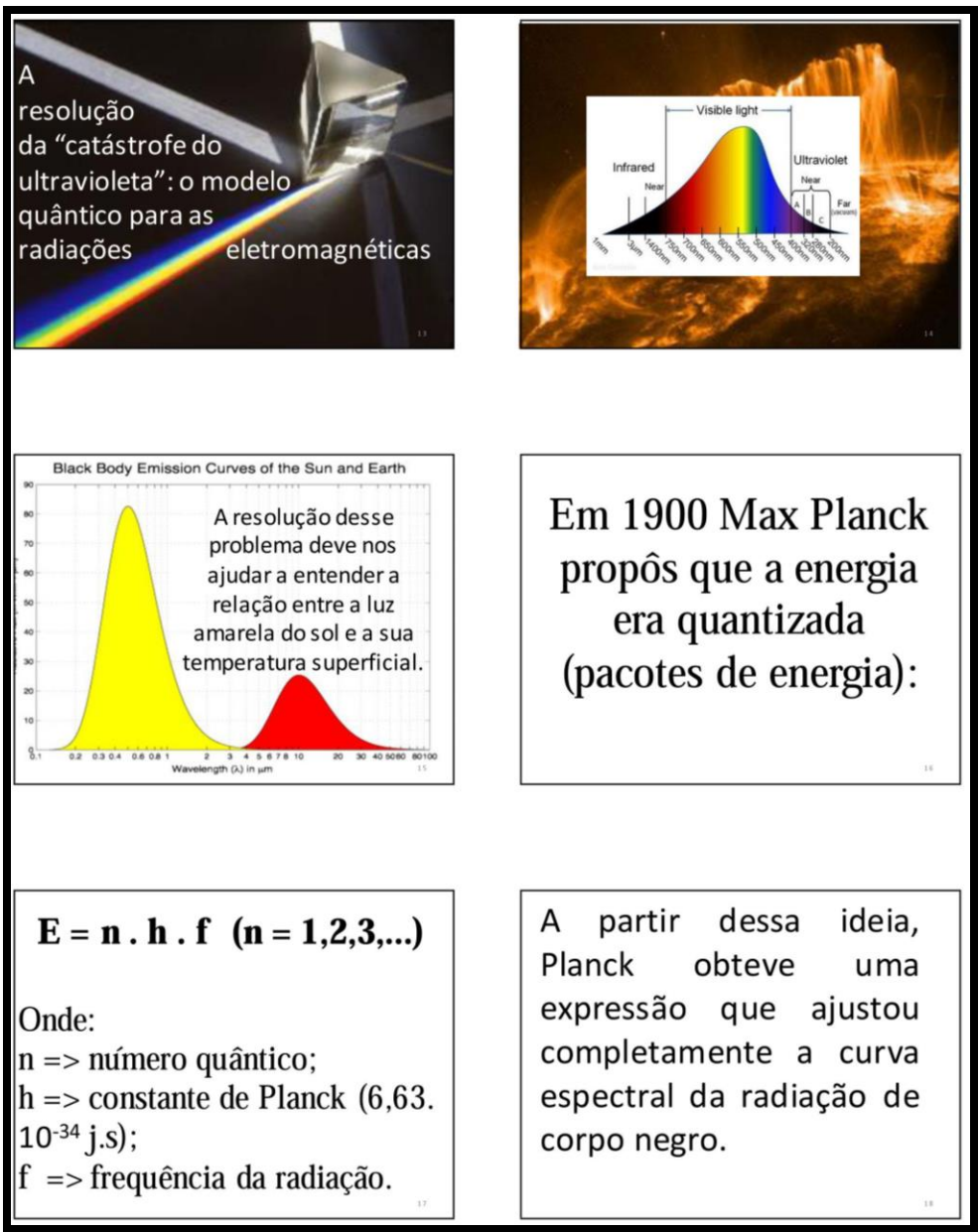


Figura 3. Slides de 13 a 18: a importância de se entender a radiação do corpo negro e a ideia da energia quantizada que poderia resolver esse problema¹⁷.

¹⁷ Fonte: elaborado pelo autor.

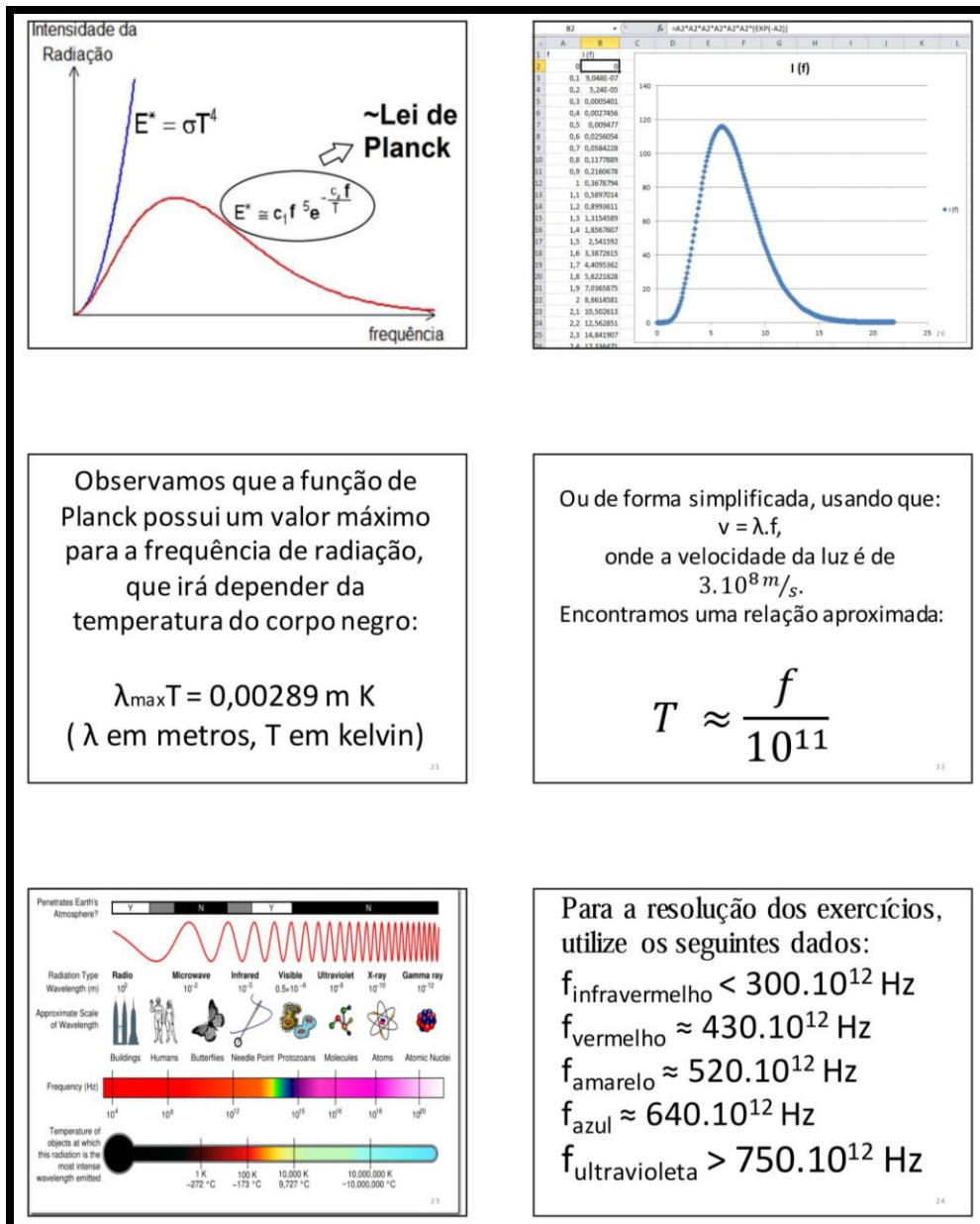


Figura 4. Slides de 19 a 24: a proposta da energia quantizada se ajusta ao experimento e também permite perceber que para cada frequência máxima de radiação deve existir uma temperatura associada¹⁸.

¹⁸ Fonte: elaborado pelo autor.

1. Qual deve ser a temperatura aproximada do sol (superfície)?


2. Qual deve ser o tipo de radiação emitida pelo corpo humano?

25

3. Como ocorre a emissão de luz ao nível atômico?

4. Qual foi o “constrangimento” que a teoria da energia quantizada daria à física clássica?

26



Como os Átomos Emitem Luz

1. Uma colisão com uma partícula em movimento excita o átomo.
 2. Isso faz com que o elétron passe para um nível mais alto de energia.
 3. O elétron retorna ao seu nível de energia inicial, liberando a energia excedente na forma de um fóton de luz.

©2002 HowStuffWorks

Fóton de Luz

Vídeo: Lâmpada s Fluorescentes

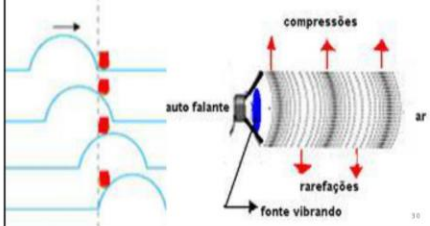
27

Refletindo

A Energia se propaga através de ondas (luz, som...), se a energia for quantizada então ela se comporta como uma partícula?

28

Mas até onde sabemos ondas não transportam matéria.



compressões

rarefações

auto falante

fonte vibrando

ar

30

Figura 5. Slides de 25 a 30: exercícios propostos para a energia quantizada e a reflexão de como poderia a energia se comportar como partícula¹⁹.

¹⁹ Fonte: elaborado pelo autor.

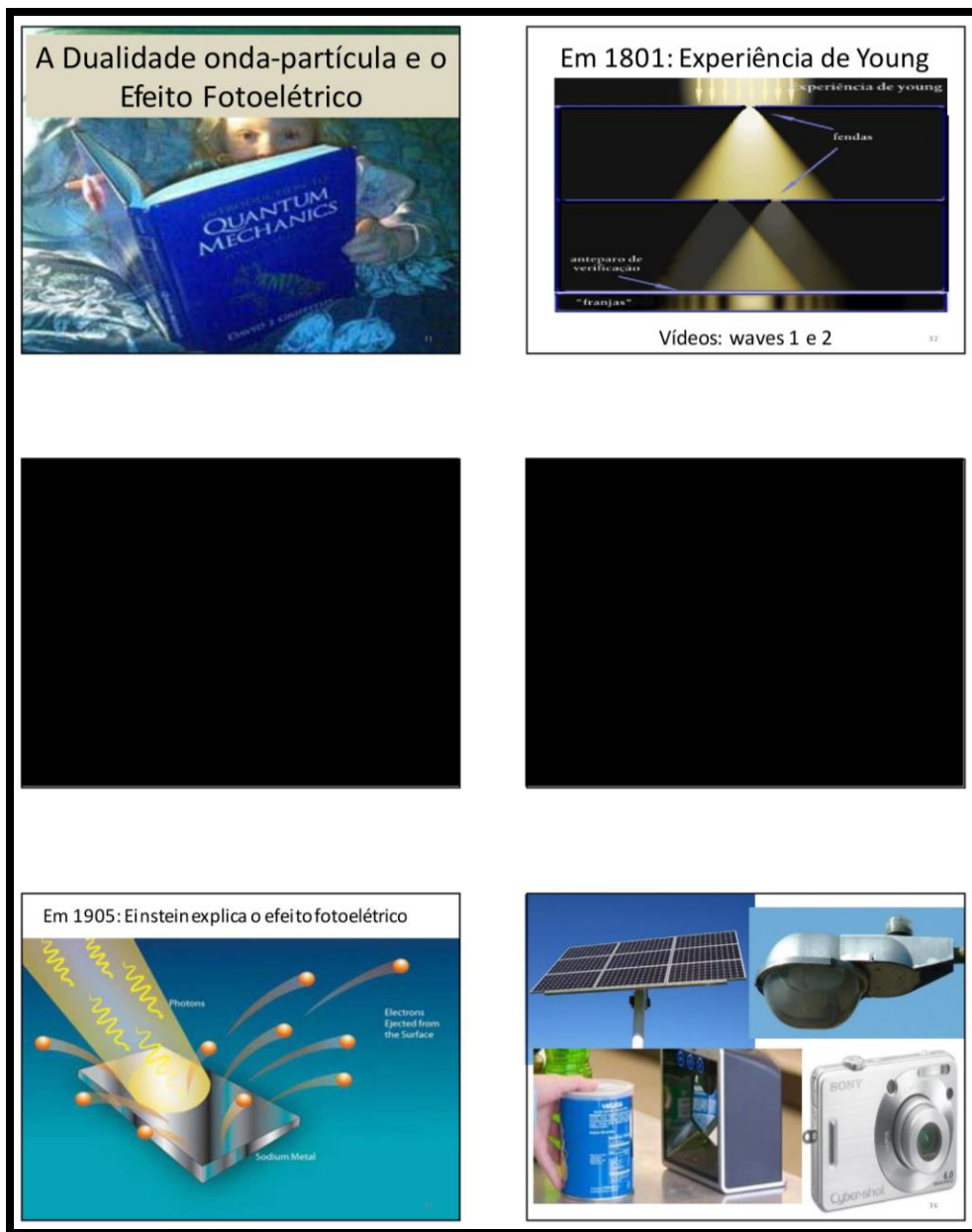


Figura 6. Slides de 25 a 30: apresentação ao comportamento dual da energia, citando dois exemplos de comportamentos, a fenda dupla e o efeito fotoelétrico²⁰.

²⁰ Fonte: elaborado pelo autor.

O efeito não acontece para qualquer frequência de radiação

Apenas a partir de certa frequência existe emissão de elétrons, não importando a intensidade de energia emitida.

Essa energia mínima para remover o elétron (energia de corte) é chamada de função trabalho:

$$W = h \cdot f_0$$

onde f_0 é a frequência de corte, que depende de cada material.

Assim, a energia do fóton será convertida em:

$$E_{\text{fóton}} = W + E_{\text{cinética do elétron}}$$

Exercícios

5. (ITA) Incide-se luz num material fotoelétrico e não se observa a emissão de elétrons. Para que ocorra a emissão de elétrons do mesmo material basta que aumente(m):

- a intensidade de luz
- a frequência da luz
- o comprimento de onda da luz
- a intensidade e a frequência da luz
- a intensidade e o comprimento de onda da luz

Figura 7. Slides de 31 a 36: verificação de que o efeito fotoelétrico deve ser entendido com a quantização da energia, devido a frequência de corte²¹.

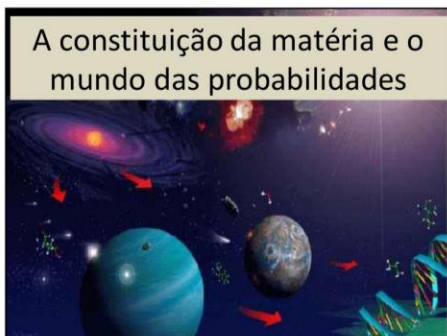
²¹ Fonte: elaborado pelo autor.

6. Qual é o valor da razão entre a função trabalho e a frequência de corte do efeito fotoelétrico?

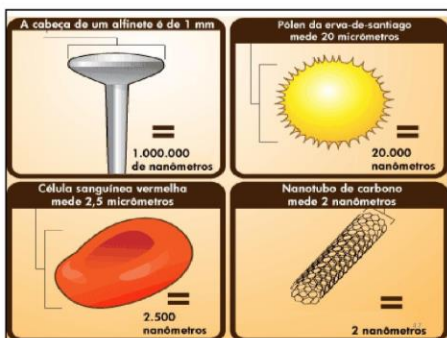
7. Para uma frequência fixa de luz incidente num metal, observou-se que não importa quão intensa fosse a radiação incidente, a energia cinética dos elétrons emitidos era sempre a mesma. Qual a medida deveria variar com o aumento da intensidade de radiação?

8. Dois feixes de raios X, I e II, incidem sobre uma placa de chumbo e são totalmente absorvidos por ela. O comprimento de onda do feixe II é três vezes maior que o comprimento de onda do feixe I. Ao serem absorvidos, um fóton do feixe I transfere à placa de chumbo uma energia E_1 e um fóton do feixe II, uma energia E_2 . Considerando-se essas informações, é correto afirmar que:

- a) $E_2 = 9E_1$
- b) $E_2 = 3E_1$
- c) $E_2 = E_1$
- d) $E_2 = \frac{1}{3} E_1$



Existe limite em se dividir uma folha de papel? Chegaríamos em algo indivisível?



Como comprovar a existência de partículas subatômicas sem vê-las?

Figura 8. Slides de 37 a 42: exercícios sobre o efeito fotoelétrico e reflexão sobre o mundo do indivisível²².

²² Fonte: elaborado pelo autor.



Figura 9. Slides de 43 a 48: como o efeito browniano ajudou à compreender a existência das moléculas da água, e revisão histórica da visão atômica²³.

²³ Fonte: elaborado pelo autor.

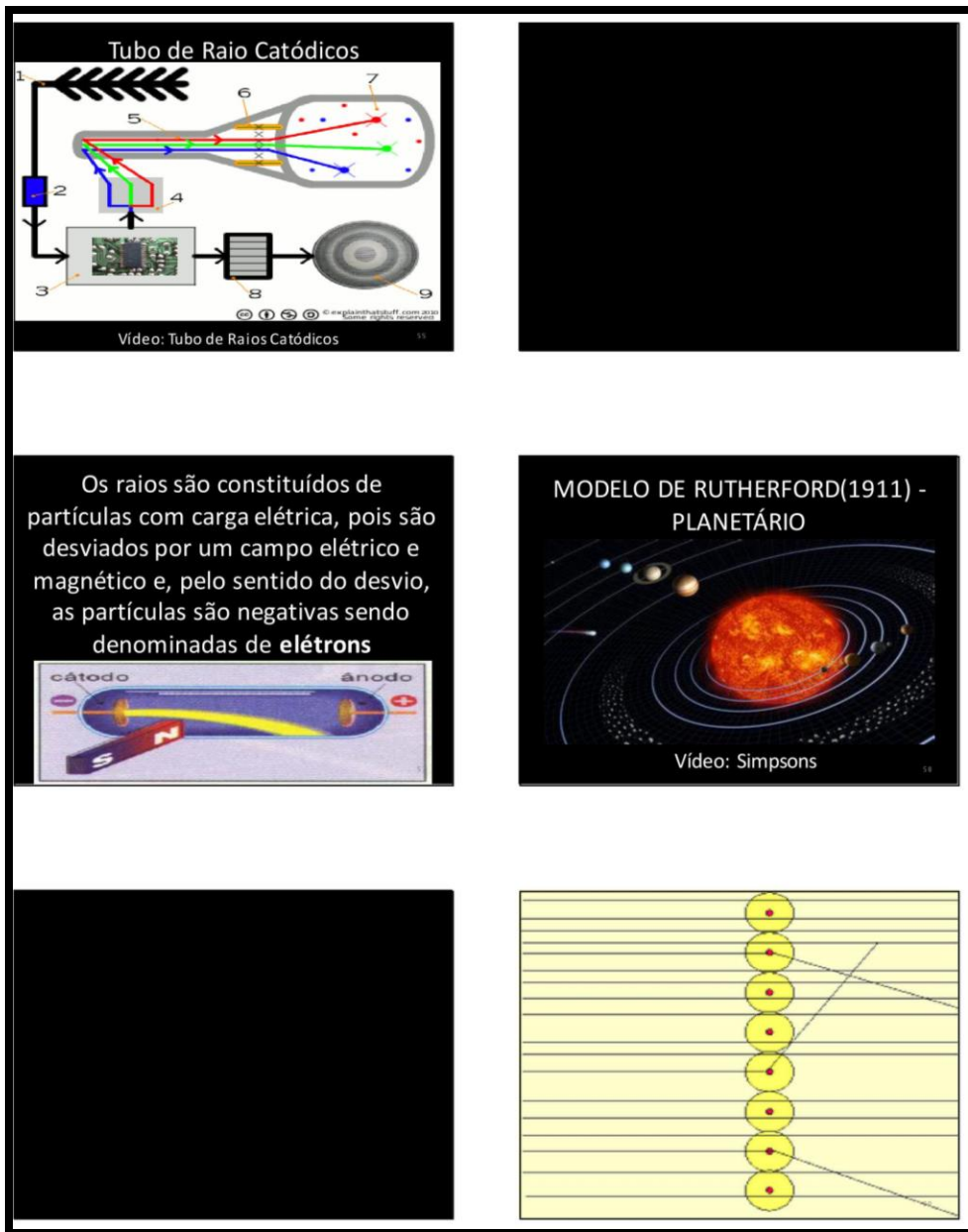


Figura 10. Slides de 49 a 60: descoberta do elétron e de que o átomo deveria ser um “grande vazio”²⁴.

²⁴ Fonte: elaborado pelo autor.

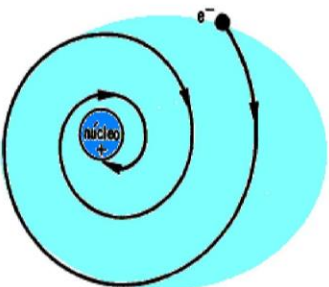
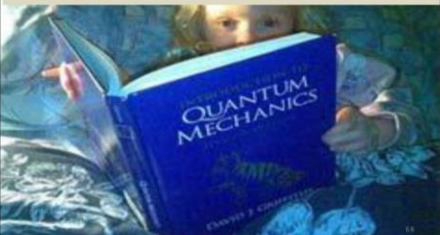
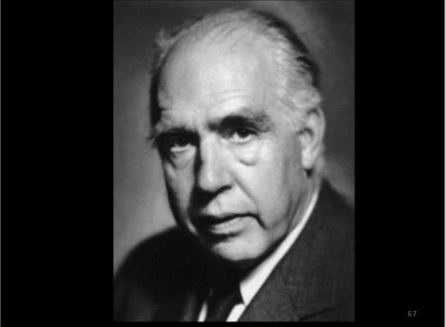
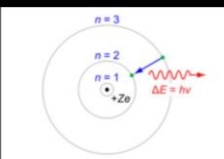
<p><u>Exercícios</u></p> <p>9. O que é um movimento browniano? Dê exemplos.</p> <p style="text-align: right;">61</p>	<p>10. Como o movimento browniano pode ser útil no entendimento da constituição da matéria?</p> <p style="text-align: right;">62</p>
<p>11. Durante os experimentos com raios catódicos, Thomson observou que os raios eram atraídos para o polo positivo. Como ele explicou esse fato?</p> <p style="text-align: right;">63</p>	<p>12. O átomo de Rutherford era inconsistente com o eletromagnetismo, que dizia que o elétron terminaria precipitando-se sobre o núcleo. Por quê?</p> <p style="text-align: right;">64</p>
 <p style="text-align: right;">65</p>	<p>Os Postulados de Bohr</p>  <p style="text-align: right;">66</p>

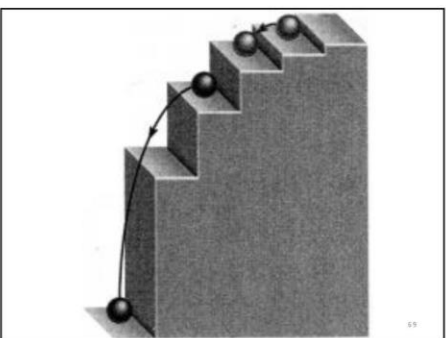
Figura 11. Slides de 61 a 66: exercícios sobre os modelos atômicos²⁵.

²⁵ Fonte: elaborado pelo autor.

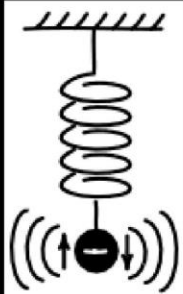


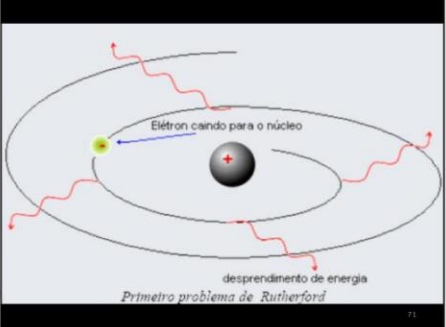
Revisando:
De acordo com o átomo de Rutherford, não havia impedimentos para que os elétrons orbitassem o núcleo a qualquer distância.





A eletrodinâmica clássica (que trata do movimento dos elétrons) explica que, tais elétrons que mudam constantemente sua direção, seu sentido, sua velocidade ou ambos, devem continuamente emitir radiação.





O que fazer?

- O eletromagnetismo está errado?
- Não existe quantização de energia?
- O elétron não é uma partícula, então ele não gira em torno do átomo, assim não perde energia?

Figura 12. Slides de 67 a 72: revisões de quantização e eletromagnetismo, reflexão sobre a instabilidade no modelo de Rutherford, para melhor apresentar o contexto por trás dos postulados de Bohr²⁶.

²⁶ Fonte: elaborado pelo autor.

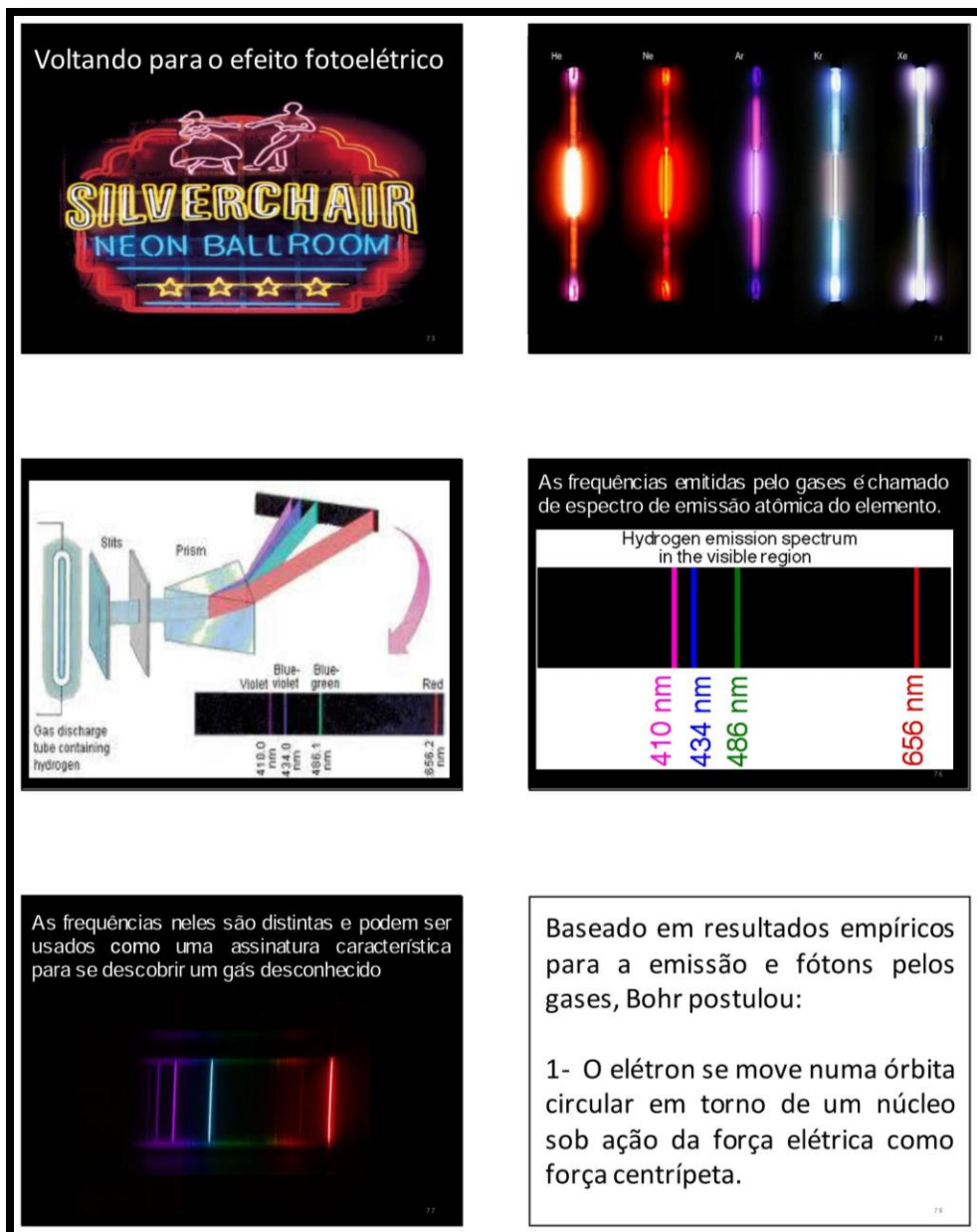
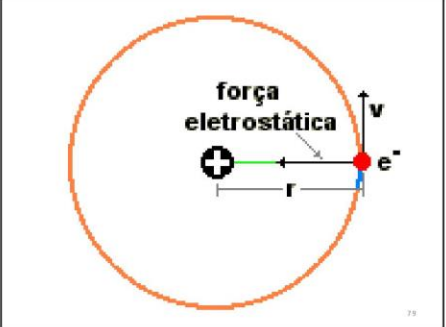


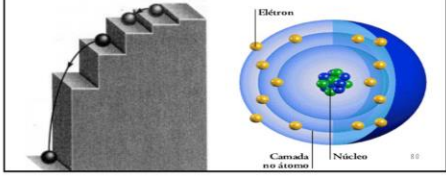
Figura 13. Slides de 73 a 78: como a luz emitida por gases e suas faixas que as identificavam, ajudaram Bohr nos seus postulados²⁷.

²⁷ Fonte: elaborado pelo autor.



79

2- As órbitas do elétron são restritas, isto é, nem todas órbitas são permitidas, devido a quantização de energia.



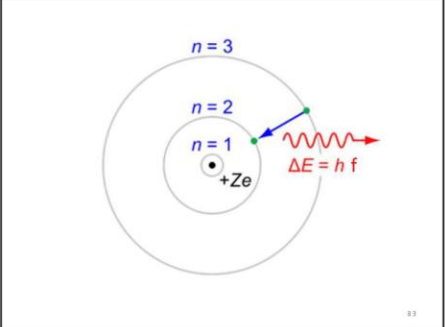
80

3- Os elétrons em órbita não emitem energia eletromagnética, e com isso não perdem energia. A emissão de energia (ou absorção) só ocorre na passagem de níveis (quando um elétron muda de um nível para outro).

81

4- Cada órbita tem uma energia associada, e a diferença de energia entre dois níveis é igual à energia emitida (ou absorvida) na mudança.

82



83

Exercício

13. A tabela abaixo mostra os níveis de energia de um átomo do elemento X que se encontra no estado gasoso.

E_0	0
E_1	7,0 eV
E_2	13,0 eV
E_3	17,4 eV
Ionização	21,4 eV

84

Figura 14. Slides de 79 a 84: Postulados de Bohr²⁸.

²⁸ Fonte: elaborado pelo autor.

Dentro das possibilidades abaixo, a energia que poderia restar a um elétron com energia de 15,0 eV, após colidir com um átomo de X, seria de:

- a) 0 eV
- b) 4,4 eV
- c) 16 eV
- d) 2,0 eV
- e) 14,0 eV


Einstein em 1905: **A**
Equivalência massa-energia

Qualquer massa possui uma energia associada e vice-versa.


Energia = Massa × (velocidade da luz no vácuo)²

↓
3. 10⁸ m/s

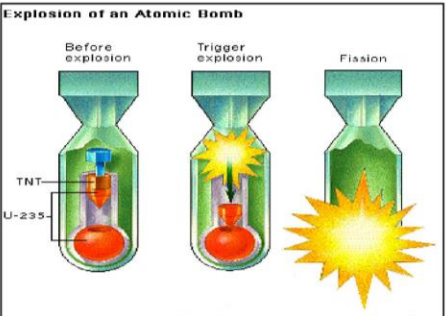
$E = mc^2$




Vídeo: Urânio Jornal Nacional



Explosion of an Atomic Bomb



© Grolier, Inc.



Vídeo: Atomic Bomb Test²⁹

Figura 15. Slides de 85 a 90: equivalência massa-energia proposta por Einstein e suas terríveis consequências²⁹.

²⁹ Fonte: elaborado pelo autor.

The Origin of Solar Energy

Vídeo: Rockstar e a origem do metal 92

Exemplo

1 kg de matéria totalmente convertida em energia equivale a:

$$E = mc^2$$

$$E = 1. \text{kg} \cdot (3.10^8 \text{m/s})^2$$

$$E = 9.10^{16} \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 9.10^{16} \text{j.}$$

94

Revisão

A luz pode agir como uma corrente de partículas cuja energia é proporcional à frequência: fóton de luz

$$E = h \cdot f$$

©2003 HowStuffWorks 95

Dúvida do caráter ora ondulatório e ora de partícula das emissões eletromagnética.

96

Figura 16. Slides de 91 a 96: exemplo de fusão nuclear ocorrida no Sol, exercícios de equivalência massa-energia e revisão sobre a dualidade onda-partícula³⁰.

³⁰ Fonte: elaborado pelo autor.

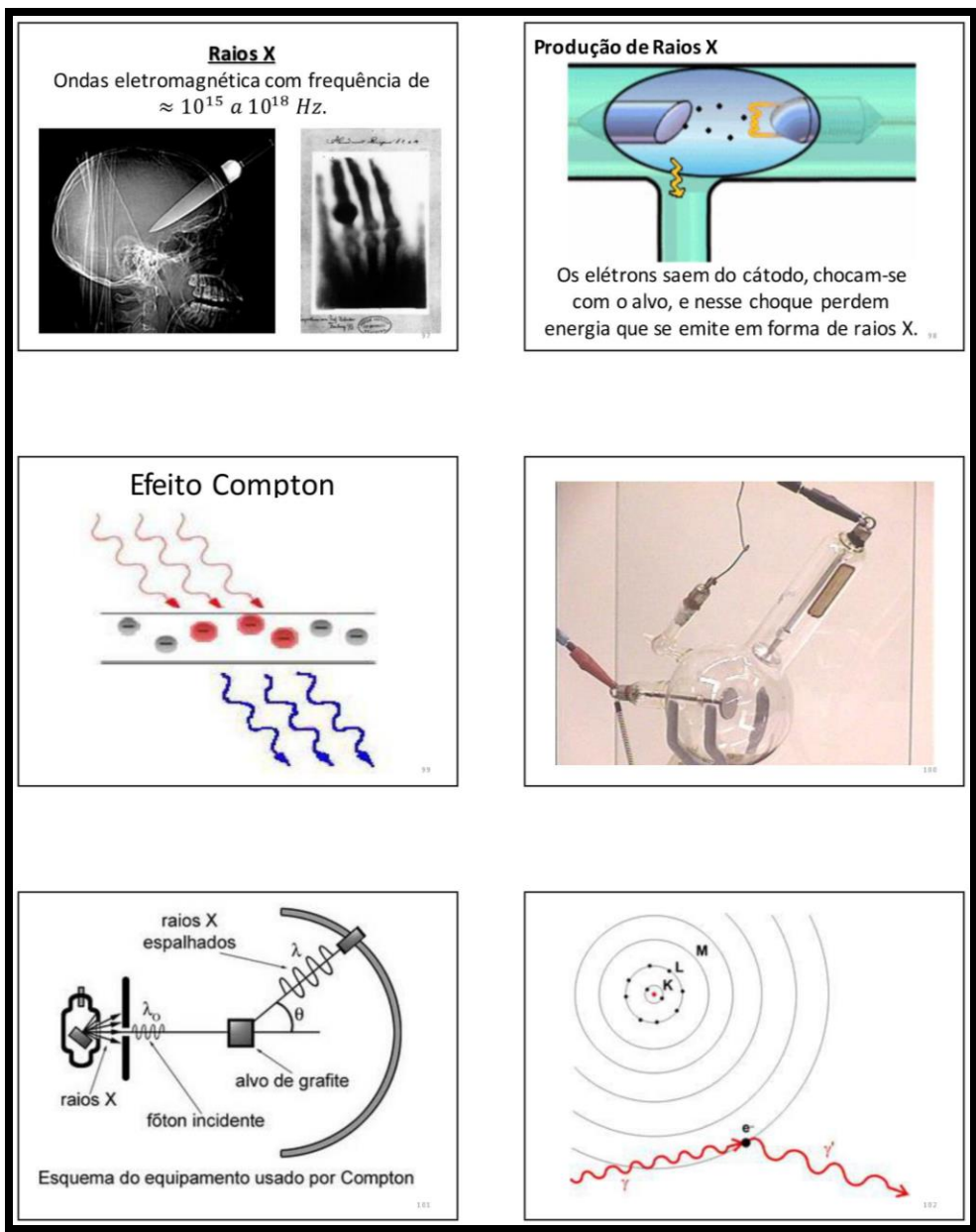


Figura 17. Slides de 97 a 102: caracterização e produção do Raio X e Efeito Compton³¹.

³¹ Fonte: elaborado pelo autor.

Exercícios


14. O que é o Efeito Compton?

103

15. Usando $P = m.c$; $E = h.f$; $E=m.c^2$ e $c = \lambda.f$. Encontre uma função do momento linear (P) de um fóton em relação ao seu comprimento de onda (λ) e independente da sua massa (m).

104

Hipótese de De Broglie:
Elétrons podem se comportar como ondas



AIP

A Teoria Eletromagnética de Maxwell também conhecida como Eletromagnetismo Clássico estabeleceu que a luz era uma onda eletromagnética. Então, em 1905, Einstein “vê” a luz composta por grãos de luz (fótons) para explicar o Efeito Fotoelétrico e, em 1923, Compton “visualiza” os fótons em um jogo de bilhar usando raios-X (ondas eletromagnéticas) e uma amostra de grafite.

106

A dualidade onda-partícula foi a saída encontrada. Se a luz, até então tida como onda, se comportava como partícula em certas situações, por que não o elétron, tido como partícula, não poderia se comportar também como uma onda dependendo da experiência? Segundo de Broglie, a matéria também poderia apresentar tal comportamento dual.

107

Considering the energy of a particle (in this case, a photon), from Einstein:

$$e = mc^2$$

$$= (mc).c$$

$$= p.c \quad (\text{where } p = \text{momentum, mass} \times \text{velocity})$$

$$= p.f\lambda \quad (\text{treating the particle like a wave, } c = f\lambda)$$

From the previous result of Planck:

$$e = hf = p.f\lambda$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

108

Figura 18. Slides de 103 a 108: Exercícios e a Hipótese de De Broglie³².

³² Fonte: elaborado pelo autor.

$$\lambda_{\text{materia}} = \frac{h}{mv}$$

***só seria perceptível para massas extremamente pequenas.**

109

Vídeo: Dualidade Onda-Partícula

110

Exercício 16: Calcule o comprimento de onda de De Broglie associado a uma bola de futebol, com massa de 400 g que se desloca a uma velocidade de 10 m/s. (Use $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg / s}$)

112

De Broglie sustenta os Postulados de Bohr, ao dizer que o movimento elétrons é guiado por uma onda, assim ele não emitiria energia eletromagnética.

113

Também reafirma os níveis quantizados de energia nas camadas eletrônicas:


$$\underbrace{2\pi r}_{\text{comprimento da órbita circular}} = n\lambda \quad n \in \mathbb{Z}$$

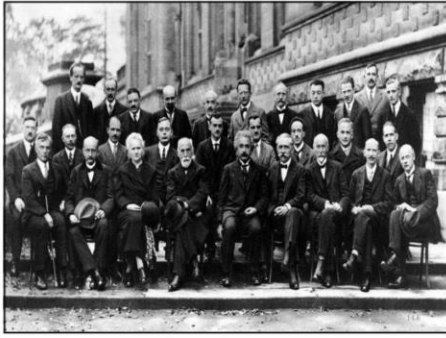
114

Figura 19. Slides de 109 a 114: Novas reflexões sobre a dualidade onda-partícula e consequências da Hipótese de De Broglie para um novo modelo atômico³³.

³³ Fonte: elaborado pelo autor.

Princípio de Incerteza de Heisenberg



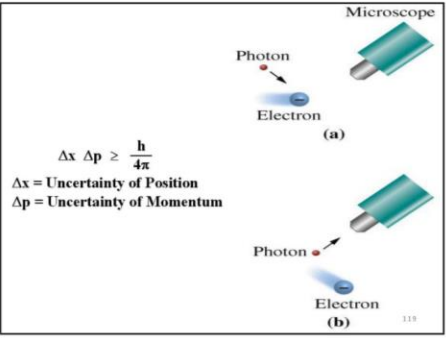


Outra questão rapidamente seguiu a ideia de De Broglie. Se um elétron viajava como uma onda, seria possível localizar a posição exata de um elétron dentro dessa onda? Um físico alemão, Werner Heisenberg, respondeu que não, com o que chamou de princípio da incerteza.

117

- Para ver um elétron em sua órbita, é preciso iluminá-lo com um comprimento de onda menor do que o comprimento de onda do elétron em si;
- Esse pequeno comprimento de onda de luz possui energia alta;
- O elétron irá absorver essa energia;
- A energia absorvida irá mudar a posição do elétron.

118



119

Respostas dos Exercícios

1. $T \approx \frac{f}{10^{11}} \approx \frac{520 \cdot 10^{12}}{10^{11}} \approx 5200 \text{ K}$

2. $T = ^\circ\text{C} + 273 = 37 + 273 = 310$

Se: $T \approx \frac{f}{10^{11}}$, temos:

$$310 \approx \frac{f}{10^{11}}$$

120

Figura 20. Slides de 115 a 120: Princípio de Incerteza de Heisenberg, concluindo a impossibilidade de se conhecer a natureza de forma exata e de como a Mecânica Quântica é desafiadora³⁴.

³⁴ Fonte: elaborado pelo autor.

<p>Então: $f \approx 310.10^{11} \text{ Hz} \Rightarrow \text{Infravermelho}$</p> <p>3. a emissão de luz por um átomo ocorre quando um elétron sofre transição do nível de energia superior para o inferior.</p> <p>4. Que a energia (luz) que se propaga como ondas não deveria</p>	<p>5. B</p> <p>6. Se: $W = h. f_0$, então: $\frac{W}{f_0} = \frac{h. f_0}{f_0} = h$</p> <p>7. O que se observa é um aumento da quantidade de elétrons que são ejetados da placa, ou seja, um aumento da corrente elétrica.</p>
<p>8.</p> <p style="text-align: center;">$E = hf$</p> <p>utilizando a equação da onda, $v = \lambda f$,</p> <p>com $v = c$ (velocidade da luz), logo $E = hc / \lambda$</p> <p>se o feixe 2 tem o triplo do comprimento de onda, terá também 1/3 da energia, pois, como se vê, são inversamente proporcionais. Resposta: letra d.</p>	<p>9. Movimento browniano é um deslocamento aleatório, caótico. Exemplos: fumaça do cigarro, andar de um bêbado, o índice da bolsa de valores...</p> <p>10. No movimento browniano tornam-se visíveis no microscópio as flutuações das partículas bem maiores em suspensão, que devem estar sendo incessantemente bombardeadas pelas partículas microscopicamente menores do fluido (moléculas de água).</p>
<p>11. Thomson propôs que os raios tinham carga negativa, pois cargas opostas se atraem. Por este experimento, Thomson descobriu que os átomos possuíam partículas negativas, que hoje são conhecidas como elétrons.</p> <p>12. Pois ao vibrar o elétrons emite ondas eletromagnéticas, perdendo energia ele terminaria sendo atraído pelo núcleo positivo.</p>	<p>15. Se:</p> <p style="text-align: center;">$E = E,$ $h. f = m. c^2.$</p> <p>Como: $f = c/\lambda$ e $P = m. c$, então:</p> <p style="text-align: center;">$\frac{h. c}{\lambda} = P. c$</p> <p>Assim:</p> <p style="text-align: center;">$P = \frac{h}{\lambda}$</p>

Figura 21. Slides de 121 a 126: gabarito numerado das questões propostas durante o curso³⁵.

³⁵ Fonte: elaborado pelo autor.

16.

$$\lambda_{matéria} = \frac{h}{m \cdot v}$$

$$\lambda_{matéria} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{0,4} = 2,652 \cdot 10^{-34} m.$$

Que se trata de um comprimento de onda imperceptível.

Figura 22. Slides de 127: continuação do gabarito numerado das questões propostas durante o curso³⁶.

Atividade 9: Pós-teste.

A atividade se encontra no Anexo B.

Planejamento das aulas e avaliações

A dificuldade de se fazer um planejamento fixo conta o problema recorrente de termos colégios que criam turmas homogêneas. Isso não é abertamente admitido, mas costuma-se ter turmas em que os alunos com dificuldades de aprendizagem ou repetentes costumam ficar na mesma sala. Além destes, outros fatos como a última aula da sexta-feira também faz diferença no cumprimento do planejado.

A Tabela 2 se refere ao caso em que o curso-piloto foi realizado:

Tabela 2. Registro das aulas feitos de acordo com o livro de chamada³⁷

Aula	Conteúdo da aula
1.	Realização do “pré-teste” para verificação dos conhecimentos prévios sobre mecânica quântica.
2.	Introdução, com diálogo, com os alunos para discutir sobre as concepções da Mecânica Quântica e revisão de grandezas de medidas usadas na Física.
3.	Atividade de pesquisa sobre conceitos usados pela

³⁶ Fonte: elaborado pelo autor.

³⁷Fonte: elaborada pelo autor.

	Física e que são usados pela Mecânica Quântica.
4.	Revisão das relações matemáticas de alguns conceitos da ondulatória, pesquisa de conceitos da Mecânica Quântica e Experimentos Virtuais de Mecânica Quântica.
5.	Introdução da Mecânica Quântica com problemas em aberto da Mecânica Quântica.
6.	A resolução da “catástrofe do ultravioleta”: modelo quântico para as radiações eletromagnéticas.
7.	A dualidade onda-partícula e o efeito-fotoelétrico.
8.	Função trabalho.
9.	A constituição da matéria e o mundo das probabilidades.
10.	Movimento browniano.
11.	Exercícios teóricos sobre mecânica quântica.
13.	Postulados de Bohr.
14.	Efeito Compton.
15.	Hipótese de De Broglie
16.	Princípio da Incerteza de Heisenberg.
17.	Exercícios de dualidade onda-partícula.
18.	Revisão de conteúdo.
19.	Pós-teste.
20.	Entrega e correção do pós-teste.

Como o Conselho Estadual de Educação do Estado do Paraná exige que “o aluno cujo aproveitamento escolar for insuficiente poderá obter a aprovação mediante recuperação de estudos, proporcionados obrigatoriamente pelo estabelecimento” (PARANÁ, 1999), o tempo de uma aula do pré-teste pode ser substituído no final pela avaliação paralela. Outra exigência “é vedada a avaliação em que os alunos são submetidos a uma só oportunidade de aferição” (PARANÁ, 1999), uma prova e um trabalho por exemplo, nós realizamos dois trabalhos de pesquisa (3ª e 4ª aula), completando assim todas as exigências no prazo das 20 aulas (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição dos instrumentos de avaliação³⁸

Instrumentos de Avaliação	Valor
Trabalhos individuais	3,0
Avaliação individual escrita	7,0
Total	10,0

Conclusão

Esperamos ter contribuído para a consolidação do ensino de uma Física mais abrangente na rede pública de ensino. Apontamos um caminho em que o aluno se torne interessado por uma linguagem mais acessível, matematicamente simples, constituindo ser um conhecimento apropriado que faça sentido em seu dia a dia.

Este curso levanta um desafio em aberto, ensinar no 3º ano do Ensino Médio Eletricidade, Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade³⁹. Mostramos aqui apenas que é possível ensinar um desses três em um bimestre, de forma resumida.

De qualquer forma, nosso curso foca na explicação da dualidade onda-partícula e fornece a quebra de paradigma para que o aluno perceba a não linearidade na construção do conhecimento científico.

³⁸Fonte: elaborada pelo autor.

³⁹ Usamos aqui a organização clássica dos conteúdos de Física do ensino médio, sem considerar as novas discussões promovidas dentro da Base Nacional Comum Curricular pelo Ministério da Educação nos últimos anos.

Anexo A

Conteúdo Auxiliar de Mecânica Quântica

Radiação de Corpo Negro

Um corpo negro é um corpo hipotético que emite (ou absorve) radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda de forma que:

- toda a radiação incidente é completamente absorvida, e
- em todos os comprimentos de onda e em todas as direções a máxima radiação possível para a temperatura do corpo é emitida.

A radiação do corpo negro é isotrópica, isto é, não depende da direção.

O Sol e a Terra irradiam aproximadamente como corpos negros. Portanto, as leis de radiação dos corpos negros podem ser aplicadas à radiação solar e terrestre com algumas restrições.

A irradiância monocromática emitida por um corpo negro é determinada por sua temperatura e pelo comprimento de onda considerado, conforme descrito pela Lei de Planck.

$$E_{\lambda}^* = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1)}$$

em que: $c_1 = 3,74, 10^{-16} \text{ Wm}^2 \text{ e } c_2 = 1,44, 10^{-2} \text{ mK}$. Gráficos de E_{λ}^* em função de λ para algumas temperaturas são mostrados na irradiância monocromática para corpo negro para várias temperaturas:

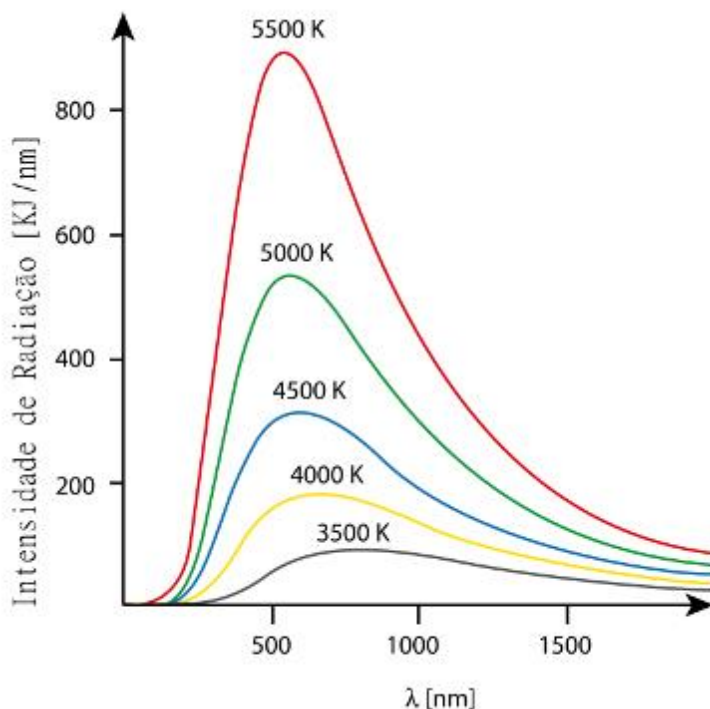


Figura 1. Gráfico da intensidade de radiação em função do comprimento de onda em diferentes temperaturas⁴⁰.

A equação pode ser simplificada para⁴¹:

$$E_{\lambda}^* \cong c_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}$$

Usando a aproximação é possível mostrar que o comprimento de onda do pico de emissão para um corpo negro com temperatura T é dado por

$$\lambda_m = \frac{2897}{T}$$

em que λ_m é expresso em micra (10^{-6}) e T em Kelvin.

Essa é a lei de deslocamento de Wien. Com ela, é possível estimar a temperatura de uma fonte a partir do conhecimento de seu espectro de emissão. Por exemplo, sabendo-se que a máxima emissão solar ocorre em $\sim 0,475 \mu$, deduz-se que sua

⁴⁰

Disponível

em:

http://alunosonline.uol.com.br/upload/conteudo_legenda/53c2dd620221488cdccb5a82e94e4a26.jpg.

Acesso em: 11 nov. 2016.

⁴¹ Exceto para grandes comprimentos de onda.

temperatura equivalente de corpo negro é 6100 K. A Terra, com $T \sim 288$ K, tem máxima emissão em $\lambda_m \sim 10 \mu$.

Da lei de Wien decorre que a radiação solar é concentrada nas partes visíveis e infravermelho próximo, enquanto a radiação emitida pela Terra e sua atmosfera é principalmente confinada ao infravermelho. Quanto mais quente o corpo radiante, menor é o comprimento de onda da máxima radiação.

Dualidade Onda Partícula

Thomas Young foi quem demonstrou inicialmente a natureza ondulatória da luz quando observou o padrão de interferência de duas fontes de luz coerentes produzido pela iluminação de um par de fendas estreitas paralelas através de uma única fonte. Mas foi em 1860 que a teoria ondulatória da luz culminou com as pesquisas de Maxwell das ondas eletromagnéticas.

A proposta da luz como partícula foi inicialmente feita por Albert Einstein em 1905, quando tratava do efeito fotoelétrico. Ele a explicou de maneira bem sucedida, como parte de um artigo, no qual ele supôs que a luz ou qualquer outra onda eletromagnética de frequência f pode ser considerada como um feixe de quanta (fótons = pacotes de energia), ou seja, a luz não é distribuída de forma uniforme ao longo da frente da onda clássica, mas está concentrada em “pacotes”, e independente da fonte de radiação, cada fóton contém uma energia E dada pela equação $E = hf$. Estes fótons fornecem toda sua energia para um único elétron no metal.

Pela equação de Planck:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

em que:

c = Velocidade da luz = 3.10^8 m/s

h = Constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s = $4,136 \times 10^{-15}$ eV.s

f = frequência

λ = comprimento de onda

A propagação da luz tem comportamento ondulatório, enquanto a troca de energia entre a luz e a matéria tem comportamento de partículas, como no Efeito Fotoelétrico e no Efeito Compton.

Compton evidência que a radiação ora se comporta como onda ora como partícula ao realizar experimentos com um espectrômetro de cristal para medir os comprimentos de ondas de raios X, cujas medidas são analisadas por meio da teoria ondulatória da difração. Por outro lado, o espalhamento afeta o comprimento de onda, sendo necessário tratar os raios X como partícula.

Um experimento que pode mostrar o comportamento dual do elétron é o experimento da fenda dupla:

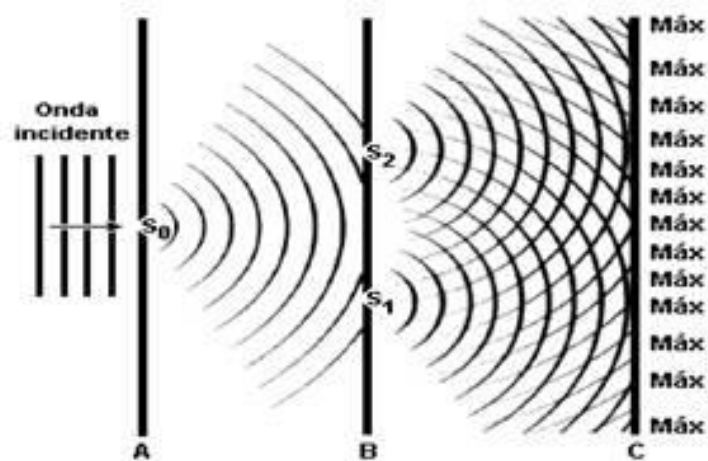


Figura 2. Experimento da fenda dupla⁴².

O Experimento da Difração de Elétrons

⁴² Disponível em: <http://fisicaestibular.com.br/images/ondulatória6/image018.jpg> Acesso em: 11 nov. 2016.

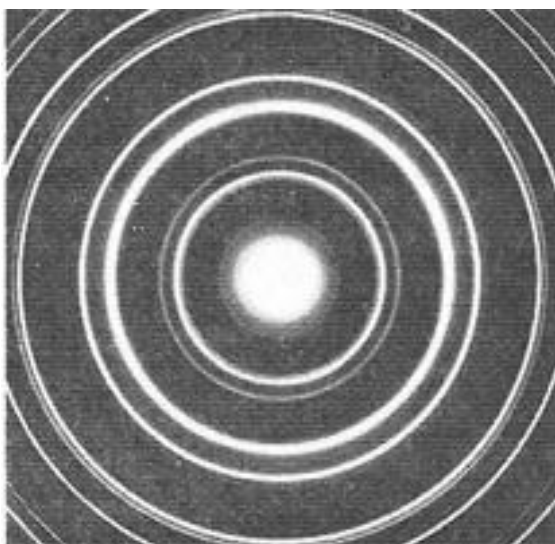


Figura 3. Experimento da Difração de Elétons⁴³.

Os elétrons (massa m e carga e) são emitidos de um cátodo incandescente e acelerados por intermédio da aplicação de um potencial V , de onde é possível determinar sua velocidade v a partir do princípio de conservação de energia.

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

O tubo utilizado é evacuado e os elétrons saem do filamento pelo efeito termo-iônico quando este é submetido a uma corrente da ordem de 300 mA. O cátodo e o ânodo estão a uma ddp da ordem de kV, que acelera os elétrons até o alvo composto por cristal de grafite. Esses elétrons então sofrem difração e produzem um padrão luminoso num anteparo de sulfato de zinco (ZnS).

O padrão luminoso é formado por anéis circulares, já que o feixe de elétrons que incide sobre o cristal (grafite) é circular. Visualizam-se nesse caso dois anéis circulares simultaneamente, e cada anel é produzido pela refração dos elétrons em cada um dos planos de Bragg. Existe uma separação d distinta, os dois anéis vistos são produzidos pelos planos com maior separação já que os demais, por terem separação menor espalham os elétrons que não chegam a atingir o anteparo.

⁴³

Disponível

em: <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/19195/imagens/image031.png>. Acesso em: 11 nov. 2016.

O caráter corpuscular do elétron é confirmado nesse experimento de difração de elétrons e posteriormente também em experimentos realizados com nêutrons e átomos leves.

O Elétron como uma Onda

Em 1924, de Broglie sugeriu a hipótese de que os elétrons poderiam apresentar propriedades ondulatórias além das suas propriedades corpusculares já bem conhecidas. Essa hipótese se justificava por uma questão de simetria, já que a radiação eletromagnética apresentava, em certos fenômenos, propriedades ondulatórias e, em outros fenômenos, propriedades corpusculares. Se a hipótese de De Broglie fosse verdadeira, experimentos de interferência e difração poderiam ser realizados com elétrons. Em 1927, Davisson e Germer mostraram experimentalmente que a intensidade de um feixe de elétrons espalhados apresentava o padrão de máximos e mínimos típico do fenômeno da difração. Os resultados conhecidos apontavam que para ondas vale:

$$E = hf = pc$$

$$\frac{hc}{\lambda} = pc$$

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

De Broglie propôs então que a matéria teria um comprimento de onda associado a ela, dado pela expressão:

$$\lambda_{matéria} = \frac{h}{m \cdot v}$$

Tal como a óptica geométrica é uma boa aproximação da óptica ondulatória quando o comprimento de onda é muito menor que as dimensões dos obstáculos ou aberturas que a radiação encontra, também a mecânica clássica é uma boa aproximação da mecânica quântica sempre que o comprimento de onda de De Broglie da partícula em causa seja muito menor do que as dimensões dos obstáculos ou aberturas que a partícula encontra.

Como o valor da constante de Planck é muito pequeno, o comprimento de onda de De Broglie é extraordinariamente pequeno para qualquer corpo macroscópico, não

sendo, por isso, de notar fenômenos de difração com os corpos que utilizamos no dia-a-dia, podendo mesmo aplicar-se aos elétrons, em certas condições, as leis da mecânica clássica.

A hipótese de De Broglie fornecia uma explicação confortável para a pergunta que intrigava os físicos: por que os elétrons podiam ocupar apenas determinados níveis de energia no átomo de Bohr? Se o elétron pode ser pensado como uma onda, ele se comporta, quando confinado no interior do átomo, como uma onda estacionária, isto é, que se propaga num meio limitado, como ocorre com as ondas produzidas na água de um tanque quando atiramos nela uma pedra.

Essa onda se propaga até as bordas do tanque e então, ao ser refletida, volta sobre si mesma. Se os picos da onda inicial e da onda refletida coincidem, eles se reforçam; porém, se os picos da onda inicial coincidem com os vales da onda refletida, eles se anulam. O mesmo ocorreria com o elétron confinado, pensou De Broglie: os níveis de energia permitidos no modelo de Bohr correspondem às regiões em que os picos se somam. Essas regiões ocorrem sempre em distâncias que correspondem a um número inteiro de vezes o comprimento de onda.

O que De Broglie formulou como pura hipótese matemática teve importantes consequências na investigação da estrutura do átomo. O físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961) deduziu, a partir da hipótese de De Broglie, uma equação de onda que logo se transformaria em uma das fórmulas mais usadas em toda a Física. Schrödinger estava firmemente convencido de que a onda proposta por De Broglie para explicar o elétron não era apenas uma simples analogia matemática, mas uma realidade física.

O elétron só pode ocupar órbitas cujo perímetro coincida com o comprimento de onda de De Broglie!

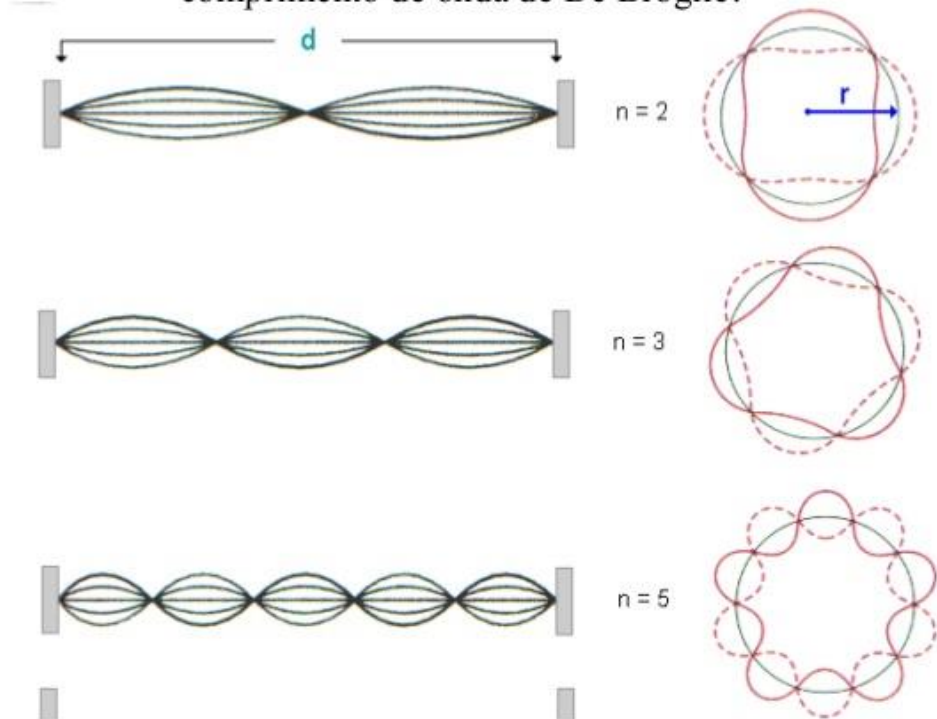


Figura 4. De Broglie e as ondas de matéria⁴⁴.

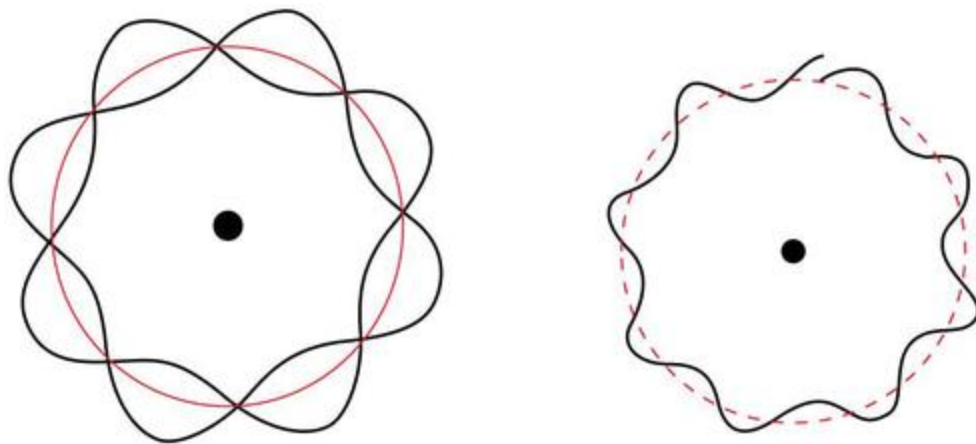


Figura 5. Um modelo quantizado possível e um modelo impossível⁴⁵.

⁴⁴ Disponível em: <http://image.slidesharecdn.com/debroglieeasondasdemateria-101108111845-phpapp01/95/de-broglie-e-as-ondas-de-materia-13-638.jpg?cb=1422659245>. Acesso em: 11 nov. 2016.

⁴⁵ Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/00/Standing_wave_electron_cloud.png/500px-Standing_wave_electron_cloud.png. Acesso em: 11 nov. 2016.

Outra questão rapidamente seguiu a ideia de De Broglie. Se um elétron viajava como uma onda, seria possível localizar a posição exata de um elétron dentro dessa onda? Um físico alemão, Werner Heisenberg, respondeu que não, com o que chamou de princípio da incerteza:

- Para ver um elétron em sua órbita, é preciso iluminá-lo com um comprimento de onda menor do que o comprimento de onda do elétron em si;
- Esse pequeno comprimento de onda de luz possui energia alta;
- O elétron irá absorver essa energia;
- A energia absorvida irá mudar a posição do elétron;

E nós nunca conseguiremos saber o momento e a posição de um elétron no átomo. Por isso, Heisenberg disse que não devemos imaginar os elétrons como se estivessem se movendo em órbitas bem definidas ao redor do núcleo.

Com a hipótese de Broglie e o princípio da incerteza de Heisenberg em mente, em 1926, um físico austríaco chamado Erwin Schrodinger criou uma série de equações ou funções de onda para os elétrons.

Equação de Schrodinger: analogia com a onda clássica

A natureza dual da matéria pode ser expressa matematicamente por meio de uma equação de onda. Erwin Schrödinger, em 1926, desenvolveu a Mecânica Quântica, cujo resultado principal é a equação que descreve o elétron por uma função de onda Ψ ocupando as órbitas estacionárias. A frequência e o comprimento de onda das ondas de elétrons estão relacionados com a energia e o momento linear dos elétrons. Dessa forma, Schrödinger conseguiu calcular os níveis de energia do átomo de Hidrogênio e os resultados são os mesmos previstos por Bohr, e que, por sua vez, coincidem com os resultados experimentais.

A equação de onda que representa ondas estacionárias de comprimento de onda λ associadas a partículas de massa m confinadas em uma região unidimensional na qual existe um potencial $V(\mathbf{x})$, tal qual um elétron confinado numa órbita atômica, é dada por:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + V(x) \Psi = E \Psi$$

em que $\Psi(\mathbf{x})$ é a amplitude da onda associada ao movimento do elétron com massa m e energia E , e h cortado representa $h/2\pi$ ($h=6,6.10^{-34}$ m².kg/s).

Ao analisarmos a Equação de Schrödinger, verificamos que as soluções dessa equação são funções complexas. Funções reais, como as soluções da equação de onda clássica, são possíveis apenas para potenciais muito particulares. Consequentemente, não há como dar às soluções da Equação de Schrödinger uma existência física, assim como fazemos com as ondas na superfície da água, ou em uma corda, ou mesmo com as ondas de luz. Nesses casos, a amplitude da onda está associada a um deslocamento (no caso das ondas mecânicas) ou ao campo elétrico (no caso da luz, ondas eletromagnéticas).

As propriedades matemáticas indispensáveis à função de onda já haviam sido bem determinadas pelo próprio Schrödinger: ela deve ser univocamente definida, contínua e finita em todo o espaço e tempo. Born, então, inspirado pelas ideias de Einstein para os fótons, supôs que o quadrado da função de onda do elétron deveria fornecer uma densidade de probabilidade para o elétron.

Heisenberg, no artigo em que introduzia o Princípio da Incerteza, mostrou que não somente o caráter determinístico da física clássica deveria ser abandonado, mas também o conceito ingênuo de realidade que enxerga as partículas atômicas como se elas fossem minúsculos grãos de areia. Born, em seu discurso na entrega do prêmio Nobel de 1954, assinalou que “Grãos de areia têm, em cada instante, posição e velocidade bem definidas. Com o elétron, a situação é bem diferente. Se a sua posição é medida com acurácia crescente, a possibilidade de se determinar a sua velocidade diminui e vice-versa”.

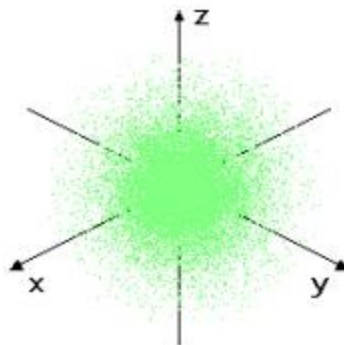


Figura 6. Densidade de probabilidade de encontrar o elétron em torno do núcleo no estado fundamental do átomo de hidrogênio⁴⁶.

⁴⁶ Disponível em: <http://www.passo-a-passo.com/mec/7.3.9/imagens/fig30.jpg>. Acesso em: 11 nov. 2016.

Ao mesmo tempo em que muitos se puseram a buscar soluções da Equação de Schrödinger para sistemas sujeitos a diferentes potenciais, outros procuravam desenvolver uma compreensão física adequada para essas soluções. Como exemplo, temos o problema de uma partícula presa dentro de uma caixa de largura L , associada classicamente às ondas estacionárias (Figura 7).

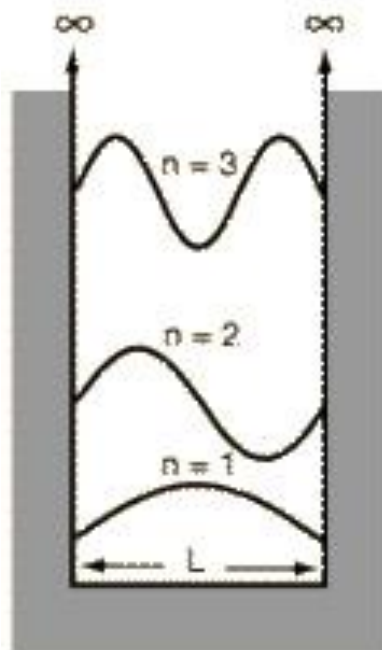


Figura 7. Ondas estacionárias associadas a uma partícula presa dentro de uma caixa de largura L ⁴⁷.

⁴⁷ Disponível em: <http://www.passo-a-passo.com/mec/7.3.9/imagens/fig13.jpg>. Acesso em: 11 nov. 2016.

Referências Bibliográficas

DANTE, Luiz Roberto. Matemática: contexto e aplicações, vol. 3. São Paulo: Ática, 2010.

EISBERG R., RESNICK R., Física Quântica, 3ª edição, Rio de Janeiro: Editora Campus, 1985.

GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física: Ensino Médio. São Paulo: Ática, 2010.

GRIMM, Alice Marlene. Notas de aula. Disponível em: <http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap2/cap2-5.html>. Acesso em: 10 ago. 2016.

HALLIDAY, D. Fundamentos de Física: Mecânica, voll. 7ª ed. LTC, 2006.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. Fundamentos de Física 4 – Ótica e Física Moderna. Tradução de Denise Helena da Silva Sotero, Gerson Bazo Costamilan, Luciano Videira Monteiro e Ronaldo Sérgio de Biasi. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1995. 355p. Título original: Fundamentals of Physics, 4th edition, Extended Version.

INSTITUTO GALILEO GALILEI PARA A EDUCAÇÃO. Um Mundo de Incertezas. Disponível em: http://www.passo-a-passo.com/mec/7.3.9/05_teoriam.htm. Acesso em: 10 ago. 2016.

LABORATÓRIO AVANÇADO DE FÍSICA: Difração de elétrons. Instituto de Física de São Carlos – IFSC/USP. Disponível em: http://www.ifsc.usp.br/~lavfis/images/BDApostilas/ApDifraEletron/DifracaoEletrons_1.pdf. Acesso em: 10 ago. 2016.

POLYCARPO, Érica; BARROSO, Marta F. Uma breve história do mundo dos quanta. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/mq-unidade5.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

STEWART, James. Cálculo, vol. 1. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. Eletricidade e magnetismo, ótica. V2; Trad. Fernando Ribeiro da Silva, Mauro Speranza Neto. – Rio de Janeiro: LTC, 2006.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Relação de ondas e mecânica quântica: interpretação de funções de onda. Disponível

em: <http://euclides.if.usp.br/~ewout/ensino/fap0184/000091.html>. Acesso em: 10 ago. 2016.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. O Elétron como Onda. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/gef/Moderna/moderna06.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.

Anexo B

Pré-teste e Pós-teste aplicado ao Ensino Médio

Prezado(a) aluno(a)

Este teste é apenas uma sondagem sobre seus conhecimentos iniciais de Mecânica Quântica a fim de levá-los em conta no desenvolvimento do curso. Não é uma avaliação formal. Por favor, evite respostas aleatórias. Deixe em branco quando julgar adequado.

Obrigado.

1. Um elétron é uma partícula? É uma onda? Explique:

2.



A obra Molhe Espiral (acima) faz lembrar o modelo atômico “planetário”, proposto por Ernest Rutherford (Figura 1). Esse modelo satisfaz as observações experimentais de desvio de partículas alfa ao bombardearem folhas de ouro. Entretanto, falha quando se leva em conta a teoria do eletromagnetismo, segundo a qual cargas aceleradas emitem radiação eletromagnética. Assim, o elétron perde energia executando uma trajetória em espiral e colapsando no núcleo (Figura 2).

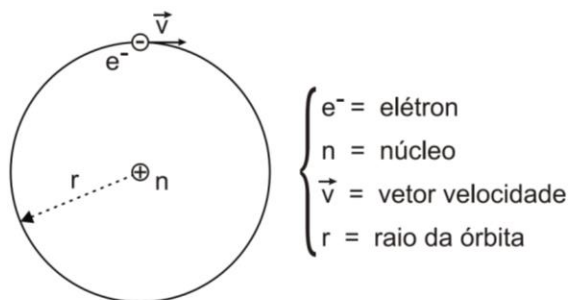


Fig. 1: Modelo atômico “planetário”

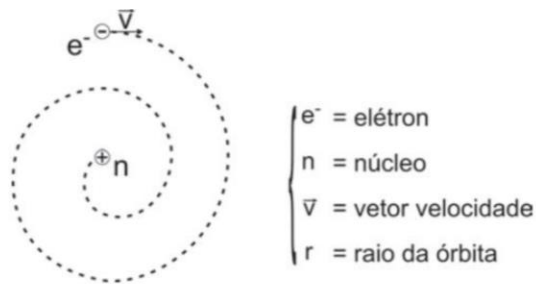


Figura 2 : Colapso do elétron no núcleo

Com base no enunciado, nas figuras e nos conhecimentos sobre mecânica e eletromagnetismo, considere as afirmativas a seguir.

I. A variação do vetor velocidade do elétron evidencia que seu movimento é acelerado.

II. Se o módulo da velocidade linear do elétron é constante em toda a trajetória da Figura 2, a sua velocidade angular aumentará até o colapso com o núcleo.

III. O átomo de Rutherford poderia ser estável se o elétron possuísse carga positiva.

IV. Na segunda figura, o elétron está desacelerando, uma vez que a força de repulsão eletrostática diminui com o decréscimo do raio da órbita.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e II são corretas.
- b) Somente as afirmativas II e IV são corretas.
- c) Somente as afirmativas III e IV são corretas.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são corretas.
- e) Somente as afirmativas I, III e IV são corretas.

3. Analise as afirmativas abaixo, relativas à explicação do efeito fotoelétrico, tendo como base o modelo corpuscular da luz.

I. A energia dos fótons da luz incidente é transferida para os elétrons no metal de forma quantizada.

II. A energia cinética máxima dos elétrons emitidos de uma superfície metálica depende apenas da frequência da luz incidente e da função trabalho do metal.

III. Em uma superfície metálica, elétrons devem ser ejetados independentemente da frequência da luz incidente, desde que a intensidade seja alta o suficiente, pois está sendo transferida energia ao metal.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente a afirmativa II é verdadeira.
- b) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- d) Somente a afirmativa III é verdadeira.
- e) Todas as afirmativas são verdadeiras.

4. Um átomo excitado emite energia, muitas vezes em forma de luz visível, porque:

- a) um dos elétrons decai para níveis de energia mais baixos, aproximando-se do núcleo.
- b) um dos elétrons foi arrancado do átomo.
- c) um dos elétrons desloca-se para níveis de energia mais altos, afastando-se do núcleo.
- d) os elétrons permanecem estacionários em seus níveis de energia.

5. Ao observarmos o espectro de radiação eletromagnética visível, podemos encontrar fótons de mais alta energia como sendo os:

- a) luz azul;
- b) luz amarela;
- c) luz vermelha;
- d) Infravermelho;
- e) luz verde;

6. Escolha, entre os modelos atômicos citados nas opções, aquele (aqueles) que, na sua descrição, incluiu (incluíram) o conceito de fóton:

- a) Modelo atômico de Thomson.
- b) Modelo atômico de Rutherford.
- c) Modelo atômico de Bohr.
- d) Modelos atômicos de Rutherford e de Bohr.
- e) Modelos atômicos de Thomson e de Rutherford

7. O efeito fotoelétrico consiste:

a) na existência de elétrons em uma onda eletromagnética que se propaga em um meio uniforme e contínuo.

b) na possibilidade de se obter uma foto do campo elétrico quando esse campo interage com a matéria.

c) na emissão de elétrons quando uma onda eletromagnética incide em certas superfícies.

d) no fato de que a corrente elétrica em metais é formada por fótons de determinada energia.

e) na ideia de que a matéria é uma forma de energia, podendo se transformar em fótons ou em calor.

8. No início do século XX, novas teorias provocaram uma surpreendente revolução conceitual na Física. Um exemplo interessante dessas novas ideias está associado às teorias sobre a estrutura da matéria, mais especificamente àquelas que descrevem a estrutura dos átomos. Dois modelos atômicos propostos nos primeiros anos do século XX foram o de Thomson e o de Rutherford. Sobre esses modelos, assinale a alternativa correta.

a) No modelo de Thomson, os elétrons estão localizados em uma pequena região central do átomo, denominada núcleo, e estão cercados por uma carga positiva, de igual intensidade, que está distribuída em torno do núcleo.

b) No modelo de Rutherford, os elétrons são localizados em uma pequena região central do átomo e estão cercados por uma carga positiva, de igual intensidade, que está distribuída em torno do núcleo.

c) No modelo de Thomson, a carga positiva do átomo encontra-se uniformemente distribuída em um volume esférico, ao passo que os elétrons estão localizados na superfície da esfera de carga positiva.

d) No modelo de Rutherford, os elétrons movem-se em torno da carga positiva, que está localizada em uma pequena região central do átomo, denominada núcleo.

e) O modelo de Thomson e o modelo de Rutherford consideram a quantização da energia.

9. No modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio neutro, a energia do elétron:

- a) pode ter qualquer valor.
- b) tem um único valor fixo.
- c) independe da órbita do elétron.
- d) tem alguns valores possíveis.
- e) depende da temperatura do átomo.

10. No início do século XX, as teorias clássicas da Física – como o eletromagnetismo, de Maxwell, e a mecânica, de Newton – não conduziam a uma explicação satisfatória para a dinâmica do átomo. Nessa época, duas descobertas históricas tiveram lugar: o experimento de Rutherford demonstrou a existência do núcleo atômico e a interpretação de Einstein para o efeito fotoelétrico revelou a natureza corpuscular da interação da luz com a matéria. Em 1913, incorporando o resultado dessas descobertas, Bohr propôs um modelo atômico que obteve grande sucesso, embora não respeitasse as leis da física clássica.

Considere as seguintes afirmações sobre a dinâmica do átomo.

- I. No átomo, os raios das órbitas dos elétrons podem assumir um conjunto contínuo de valores, tal como os raios das órbitas dos planetas em torno do Sol.
- II. O átomo pode existir, sem emitir radiação, em estados estacionários cujas energias só podem assumir um conjunto discreto de valores.
- III. O átomo absorve ou emite radiação somente ao passar de um estado estacionário para outro.

Quais dessas afirmações foram adotadas por Bohr como postulados para o seu modelo atômico?

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

11. Considere as duas colunas a seguir, colocando no espaço entre parênteses o número do enunciado da coluna A que mais relação tem com o da coluna B.

Coluna A

- 1. Existência do núcleo atômico

2. Imprecisão de medidas simultâneas
3. Caráter corpuscular da luz
4. Caráter ondulatório das partículas

Coluna B

- () Hipótese de de Broglie
- () Efeito fotoelétrico
- () Princípio da incerteza de Heisenberg
- () Experimento de Rutherford

A relação numérica correta, de cima para baixo, na coluna B, que estabelece a associação proposta, é:

- a) 4 - 3 - 2 - 1.
- b) 1 - 3 - 2 - 4.
- c) 4 - 2 - 3 - 1.
- d) 4 - 3 - 1 - 2.
- e) 4 - 1 - 2 - 3.

12. O modelo atômico de Bohr prevê órbitas para os elétrons em torno do núcleo, como em um sistema planetário. A afirmação "um elétron encontra-se exatamente na posição de menor distância ao núcleo (periélio) com velocidade exatamente igual a 10^7 m/s" é correta do ponto de vista do modelo de Bohr, mas viola o princípio:

- a) da quantização da energia.
- b) da conservação da energia.
- c) de Pascal.
- d) da incerteza de Heisenberg.
- e) da conservação de momento linear.

Referências Bibliográficas

- ABRIL, Mídia. A revolução da Teoria Quântica. Disponível em: <http://super.abril.com.br/ciencia/a-revolucao-da-teoria-quantica>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- CANATO JUNIOR, Osvaldo. Física quântica e formação docente: confluência de várias redes. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- GASPAR, Alberto. Compreendendo a Física: Ensino Médio. São Paulo: Ática, 2010.
- GLOBO, Comunicação e Participações. Modelos atômicos. Disponível em: <http://educacao.globo.com/quimica/assunto/estrutura-atomica/modelos-atomicos.html>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- GROSSO, Mato. Secretaria de Estado de educação. Área de Ciências da Natureza e Matemática. Disponível em: <http://www.seduc.mt.gov.br/educadores/Documents/Políticas%20Educativas/orientações%20curriculares%20Educação%20Básica/LIVRO%20CIENCIAS%20DA%20NATUREZA%20E%20MATEMÁTICA%20com%20ficha%20catalografica.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- LIMA, Danilo José de. Física Moderna. Disponível em: http://professordanilo.com/teoria/Downloads/2016/listas/FISICA_MODERNA.pdf. Acesso em: 10 ago. 2016.
- MORTIMER, Eduardo Fleury. Coleção Explorando o Ensino - Química, Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006
- PENNA, Rodrigo. Questões corrigidas Física Moderna. Disponível em: <https://souvestibulando.files.wordpress.com/2012/03/fc3adsica-moderna.doc>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- RIO VERDE, Cooperativa de Ensino. Lista de Exercícios. Disponível em: http://www.colegiodna.com.br/exercicios/1940/lista_de_exercicios_pvs_05_12_2014.doc. Acesso em: 10 ago. 2016.

RIO VERDE, Cooperativa de Ensino. Lista de Exercícios. Disponível em:
http://www.colegiodna.com.br/exercicios/1940/lista_de_exercicios_pvs_10_04_2014.doc
. Acesso em: 10 ago. 2016.

VALENTIM, Fernando. Exercícios de Física. Disponível em:
http://www.futuromilitar.com.br/portal/attachments/article/122/fisica_moderna_lista_exercicios_futuro_militar.pdf. Acesso em: 10 ago. 2016.