

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**INTRODUZINDO FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO A PARTIR
DO TEMA ESTRUTURADOR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA:
LUZ, CORES E APLICAÇÕES MÉDICAS**

José Fernando Cánovas de Moura



Porto Alegre

2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**INTRODUZINDO FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO A PARTIR
DO TEMA ESTRUTURADOR RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA:
LUZ, CORES E APLICAÇÕES MÉDICAS***

José Fernando Cánovas de Moura

Dissertação realizada sob a orientação da Profa. Dra. Rejane Maria Ribeiro Teixeira e co-orientação do Prof. Dr. Fernando Lang da Silveira e apresentada ao Instituto de Física da UFRGS em preenchimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Porto Alegre

2014

*Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação de mestrado à
minha esposa e companheira Fabiana e, às
maiores alegrias da minha vida, meus filhos

Taiany, Caio, Clara e Cauã

AGRADECIMENTOS

- Agradeço aos meus orientadores Prof^ª Dr^ª Rejane Maria Ribeiro Teixeira e Prof. Dr. Fernando Lang da Silveira pela paciência e carinho que a mim dispensaram;
- ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Física da UFRGS pela oportunidade de aprimoramento e disponibilidade de seus professores;
- à Professora Ruth de Souza Schneider (*in memoriam*) pelo acolhimento no início dos trabalhos;
- à minha esposa, pais e irmãs pela preocupação e incentivo à finalização do mestrado;
- ao meu sogro Marco Antônio e meu cunhado Roger pela ajuda à minha esposa no cuidado dos meus três filhos pequenos.

RESUMO

Neste trabalho são propostos textos e atividades para apresentação em sala de aula de temas relacionados com oscilações, ondas, radiação eletromagnética, cores, propriedades corpusculares da luz, modelos atômicos, radiações ionizantes e aplicações médicas. O material foi desenvolvido e aplicado à luz das teorias da interação social de Vygotsky e da aprendizagem significativa de Ausubel em um Curso de Extensão para professores de Física do ensino básico. Posteriormente, as atividades foram modificadas e adaptadas para a disciplina de Física Geral do Curso de Licenciatura em Matemática da Faculdade Cenequista de Osório. O texto e atividades que tratam da Introdução a radiações ionizantes foram também utilizados na disciplina de Biofísica do curso de Ciências Biológicas da mesma faculdade. As aplicações realizadas são analisadas e os resultados discutidos. O material instrucional produzido será disponibilizado na série “Textos de Apoio ao Professor de Física”, separado em capítulos, de forma a facilitar a utilização do conteúdo parcial ou completo por outros professores em sua prática docente.

Palavras-chave: Ensino de Física; Física moderna e contemporânea; Teorias de aprendizagem significativa de Ausubel e de interação social de Vygotsky; Física na escola de nível médio e no ensino superior.

ABSTRACT

In this work we present texts and activities related to Physics contents such as oscillations, waves, electromagnetic radiation, colors, corpuscular properties of light, atomic models, ionizing radiation and medical applications. The material was developed and activities were implemented in the classroom based in Vygotsky's social interaction and Ausubel's meaningful learning theories. The content was initially implemented in a course aimed at high-school Physics teachers. It has been subsequently adapted, to be presented to students attending teacher education courses in Mathematics and Biology at FACOS, in Osorio. The implementation of the instructional material is analyzed and their results are discussed. All the material will be made available in the series "Textos de Apoio ao Professor de Física", organized in chapters, to ease its use by other Physics teachers in their respective classes.

Keywords: Physics teaching; Modern and contemporary Physics; Ausubel meaningful learning and Vygotsky social interaction theories; Physics teaching in high school and teacher education courses.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
INTRODUÇÃO.....	10
CAPÍTULO 2	13
ESTUDOS RELACIONADOS	13
CAPÍTULO 3	19
REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
CAPÍTULO 4	21
METODOLOGIA DA PROPOSTA INSTRUCIONAL.....	21
4.1 Material e desenvolvimento para o curso de extensão	21
4.1.1 Contexto da aplicação da proposta	21
4.1.2 Conteúdos abordados.....	21
4.2 Material e desenvolvimento para as disciplinas do curso de Licenciatura em Matemática.....	24
4.2.1 Disciplina - Física II	24
4.2.2 Disciplina - Física IV.....	24
4.2.3 Disciplina - Estágio supervisionado em Física no Ensino Médio e Metodologia do Ensino de Física	25
4.3 Disciplina de Biofísica no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas	25
CAPÍTULO 5	26
IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA	26
5.1 Relatos das aulas do Curso de Extensão.....	26
5.1.1 Relato da Aula 1	26
5.1.2 Relato da Aula 2	27
5.1.3 Relato da Aula 3	28
5.1.4 Relato da Aula 4	29
5.1.5 Relato da Aula 5	31
5.1.6 Relato da Aula 6	32
5.1.7 Relato da Aula 7	33

5.1.8	Relato da Aula 8	35
5.1.9	Relato da Aula 9	36
5.1.10	Relato da Aula 10	38
5.1.11	Relato da Aula 11	40
5.1.12	Relato da Aula 12	40
5.1.13	Relato da Aula 13	41
CAPÍTULO 6		42
RESULTADOS E DISCUSSÃO		42
6.1	Curso de extensão	42
6.1.1	Relação dos resultados dos pré-testes <i>versus</i> do pós-testes.....	42
6.2	Curso de Licenciatura em Matemática	43
6.2.1	Física II.....	43
6.2.2	Física IV	45
6.2.3	Disciplina Metodologia do Ensino de Física e Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio	47
6.3	Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas	48
6.3.1	Disciplina de Biofísica	48
CAPÍTULO 7		49
CONSIDERAÇÕES FINAIS		49
REFERÊNCIAS		51
APÊNDICE A – Curso de extensão: Respostas de questionários e testes		56
A.1	Questionário inicial e transcrição das respostas	56
A.2	Teste inicial sobre conceitos relacionados à <i>Radiação eletromagnética: luz e cores</i> 60	
A.3	Teste inicial sobre conceitos relacionados à <i>Radiação eletromagnética:</i> <i>radiações ionizantes e aplicações médicas.....</i>	63 63
A.4	Teste final sobre conceitos relacionados à <i>Radiação eletromagnética: luz e</i> <i>cores.....</i>	66 66
A.5	Teste final sobre conceitos relacionados à <i>Radiação eletromagnética:</i> <i>radiações ionizantes e aplicações médicas.....</i>	69 69

A.6	Questionário final de avaliação do curso.....	72
APÊNDICE B - Análise dos resultados dos trabalhos realizados na disciplina Física II do Curso de Licenciatura em Matemática		
B.1	Análise dos resultados do <i>Trabalho sobre MHS, pêndulo simples e MCU</i>	75
B.2	Análise dos resultados do <i>Trabalho sobre ondas</i>	80
B.3	Análise dos resultados das aplicações do pré e do pós-teste	86
B.4	Transcrição comentários dos alunos sobre o processo pedagógico desencadeado ..	88
APÊNDICE C - Análise dos resultados dos testes, trabalhos e questionários realizados na disciplina Física IV do Curso de Licenciatura em Matemática.....		
C.1	Análise dos resultados das aplicações do pré e do pós-teste sobre cores	91
C.2	Análise dos resultados do Trabalho com aplicativos sobre <i>A interação dos raios X com a matéria</i>	98
C.2.1	Atividades propostas e transcrições da respostas	98
C.3	Questões e resultados do Trabalho final do segundo bimestre de Física IV 2009 .	116
APÊNDICE D – TEXTO DE APOIO		
		121

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Estamos em pleno século XXI e a Física ensinada em nossas escolas ainda é anterior a do século XX.

Podem-se indicar algumas causas para este fato: grande parte dos professores do Ensino Médio não domina tópicos de Física Moderna e Contemporânea; não há tempo suficiente para cumprir os conteúdos programáticos das instituições e, no final do curso, discorrer sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea; não se pode apresentar tópicos de Física Moderna e Contemporânea de uma forma honesta, sem que já se tenha oportunizado a construção de uma base sólida em Física Clássica.

Este trabalho propôs testar uma sequência de atividades regidas por um texto de apoio, no intuito de viabilizar a introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, a partir do tema estruturador Radiação Eletromagnética: luz, cores e aplicações médicas. Pretendeu-se facilitar a inserção de tópicos de Física Moderna e temas afins nas práticas habituais de ensino da Física na escola de nível médio a partir de atividades exploratórias para serem trabalhadas ao longo dos tópicos habituais de Mecânica, Física Térmica, Óptica/Física Ondulatória e Eletromagnetismo, especificamente com o objetivo do entendimento de interações da radiação com a matéria. Esperou-se proporcionar uma visão abrangente da Física objetivando maior compreensão da natureza e da tecnologia utilizada, na tentativa de justificar por que e para que se estuda Física.

A estrutura habitual dos cursos de Ensino Médio obedece a sequência: Mecânica, Física Térmica, Óptica/Física Ondulatória e Eletromagnetismo. Raras são as instituições que efetivamente trabalham assuntos de Física Moderna. Quando isto acontece, os assuntos são tratados somente no final do terceiro ano. Como a carga horária das disciplinas de Física já é reduzida e, em algumas instituições ainda tende a diminuir, apenas apresentar tópicos de Física Moderna no final do curso torna o contato com a Física dos séculos XX e XXI muito superficial, impossibilitando o estabelecimento de condições apropriadas à aprendizagem significativa e a uma alfabetização científica adequada aos nossos dias.

Encontra-se consenso na comunidade docente quanto à inadequação da prática pedagógica que resume a Física à aplicação de fórmulas. Muito se fala em privilegiar conceitos e aplicações, Física e realidade. Recentemente, tem-se incentivado a inserção de novas tecnologias no ensino de Física e a introdução de tópicos de Astronomia, Gravitação e Física Moderna e Contemporânea. Infelizmente, encontram-se ainda em todo o país, e

também no Litoral Norte do RS, práticas pedagógicas do tipo aplicação de fórmulas restrita aos assuntos do quarteto básico de conteúdos, de forma fragmentada, sem potencial de uma aprendizagem significativa e abrangente. Muitos são os alunos que terminam o Ensino Médio e não relacionam a Física da escola com as tecnologias de que cotidianamente se utilizam e são baseadas nas interações da radiação com a matéria. Passam despercebidas as relações dos conteúdos de Física Clássica que são trabalhados no Ensino Médio com teorias que representam estas interações tanto macro quanto microscopicamente.

A grande maioria dos professores que ministram a disciplina de Física no Ensino Médio do litoral norte do Rio Grande do Sul (Santo Antônio da Patrulha até Torres) não possuem habilitação específica para ministrar a disciplina de Física neste nível de ensino e, ao mesmo tempo, a maioria destes são egressos do curso de Licenciatura Plena em Matemática da Faculdade Cenecista de Osório (FACOS). Em suma, existe a necessidade de uma formação continuada dos professores que lecionam Física na região (como também ocorre noutras regiões) para que eles possam justificar a Física como disciplina de importância para o entendimento/compreensão do mundo em que vivemos e das tecnologias que utilizamos.

Neste intuito, foi oferecido um curso de extensão para professores da rede de ensino da região, egressos e formandos do curso de Licenciatura em Matemática da FACOS onde um conjunto de atividades foi criado e aplicado a professores que atuam em disciplina de Física no Ensino Médio. Como o número de participantes neste curso de extensão foi reduzido, o envolvimento dos participantes com a proposta não foi a contento e os textos e organização dos encontros ainda encontravam-se em uma fase embrionária, resolveu-se aplicar o material instrucional em disciplinas do curso de Licenciatura em Matemática da mesma faculdade: Física II e IV. Para tal, as atividades foram modificadas e outras criadas para adequá-las ao novo contexto. Na disciplina de Física II foram desenvolvidas atividades sobre Oscilações, Física Ondulatória e, de modo particular, a Acústica. Já na Física IV, os assuntos tratados foram Óptica Física, Cores, Modelos Atômicos e Radiações Ionizantes. O capítulo do texto de apoio que trata da Introdução a radiações ionizantes foi utilizado também na disciplina de Biofísica do curso de Ciências Biológicas da mesma faculdade.

No Capítulo 2 são apresentados estudos relacionados aos temas e à abordagem deste trabalho de dissertação. O embasamento teórico para o desenvolvimento e implementação dessa proposta didática é delineado no Capítulo 3. No capítulo 4 é apresentada a metodologia da proposta instrucional. Segue no Capítulo 5 a descrição da implementação da proposta e no

Capítulo 6 os resultados da aplicação são analisados. Por fim, no Capítulo 7, são apresentadas as considerações finais.

Os Apêndices A, B e C referem-se aos questionários e demais instrumentos de avaliação das práticas pedagógicas desenvolvidas, respectivamente, no Curso de Extensão, na disciplina de Física II e na disciplina de Física IV do Curso de Licenciatura em Matemática. Já no Apêndice D, é apresentado o Texto de Apoio.

CAPÍTULO 2

ESTUDOS RELACIONADOS

A ideia de introduzir tópicos de Física Moderna junto a tópicos de Física Clássica, a partir da Óptica em direção ao entendimento do microcosmos não é nova. Livros didáticos já o fazem aqui mesmo no Brasil há pelo menos seis décadas.

De acordo com os PCN+ do Ensino Médio (Brasil, 2002) também *o estudo de matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico.*

Já na década de 50, o livro de Blackwood *et al.* (1958) completa os conteúdos de óptica com um capítulo sobre instrumentos ópticos, outro sobre espectros (onde é abordada a dispersão da luz em prismas, nos arco-íris, interferência em filmes/bolhas de sabão, absorção da energia radiante, fluorescência, espectros contínuos e espectros de linhas de emissão e absorção) e ainda outro sobre cores. Segue, então, uma última parte do livro denominada Elétrons e Física Nuclear onde se relaciona historicamente o início da Física Moderna com a condução de eletricidade por gases e os raios X. A seguir, é apresentado um capítulo sobre o funcionamento do rádio, das células fotoelétricas (olho elétrico) e da televisão, encerrando com um capítulo denominado Radioatividade e Energia Atômica. Além de diversas aplicações de raios X (também na medicina com raios X diagnósticos e de tratamento de enfermidades), são comentadas como aplicações médicas o uso do iodo radioativo *para tratamento de algumas espécies de papo* (Blackwood *et al.*, 1958, p. 718) quando depositado na glândula tireóide (uso da radioatividade em Medicina Nuclear).

Mais especificamente o assunto Luz e Cores, quando tratado em textos didáticos, paradidáticos ou artigos de formação continuada para professores do Ensino Médio, é rico em situações que transitam entre a Óptica e uma breve introdução a tópicos de Física Moderna.

O artigo “Por que é o céu azul?” (Fava, 1985), publicado no segundo exemplar do *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, tratando do tema cor do céu, apresenta a interação da luz com cargas elétricas das moléculas de ar com alusão a antenas moleculares de cargas vibrando conforme modelo de oscilador harmônico forçado. Sendo a frequência natural de vibração das cargas no domínio do ultravioleta, origina-se maior espalhamento entre as cores visíveis, para as frequências mais altas.

Luz e Álvares (2000) tratam da dispersão da luz em prismas e em gotículas de chuva, sob o enfoque da Óptica geométrica:

... Ao penetrar superposta [luz branca] no vidro, cada cor sofre um desvio diferente, pois, como vimos, o índice de refração do vidro é diferente para cada uma delas. Por este motivo, o feixe refratado se apresenta colorido. Este fenômeno, no qual a luz branca se separa em várias cores, é denominado dispersão da luz. Portanto, ao se refratar, a luz branca se dispersa nas cores que a constituem.

Um dos livros do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) (1993) encaminha uma introdução à óptica quântica com alusão à óptica geométrica:

O surgimento de cores também pode ser observado quando a luz atravessa um prisma, bolhas de sabão e gotículas de água (arco-íris). A separação das cores constitui o processo denominado dispersão da luz e ocorre devido ao fato de o índice de refração depender do meio e também do comprimento de onda da luz que nele se propaga. Assim, as diferentes cores que compõem a luz branca poderão sofrer desvios diferentes cada vez que o seu meio de propagação mudar. (p. 221)

Também, na versão preliminar do livro GREF disponibilizado na *internet* (<http://www.if.usp.br/gref/>) (1998) é apresentada uma iniciação à Física Quântica com a análise da absorção e da emissão de fótons pelos átomos. Depois, ao explicar a decomposição da luz branca em prismas, menciona que a luz vermelha no prisma tem maior velocidade que a luz violeta e que a luz violeta, de maior frequência, apresenta um desvio maior. Volta ao modelo quântico para elucidar a formação da imagem no filme fotográfico e na câmara de TV e ainda relaciona a Óptica com a cor e a luz das estrelas e seus espectros de linha de emissão. Termina o enfoque de introdução quântica com explicações e aplicações do Laser.

O livro Física Conceitual (Hewitt, 2002), para explicar o azul do céu, parte de uma analogia mecânica com diapasões de forquilha que entram em ressonância em determinadas frequências sonoras. Da mesma forma, moléculas de oxigênio e nitrogênio têm frequência natural de oscilação na faixa do violeta. Assim, explica o espalhamento seletivo que torna o céu azul. Aponta que por ser o vermelho a cor menos espalhada é a que melhor é transmitida quando do por do sol.

No livro paradidático *Luz e Cores* de Figueiredo e Pietrocola (1997), em suas páginas 17 até 23, é apresentada uma explicação sobre a interação da luz com a matéria nos processos de absorção e reemissão da luz (p. 19). Já na página 23, citam o seguinte:

Vimos os diversos resultados da interação das ondas eletromagnéticas com a matéria e os comportamentos tanto dos elétrons como das moléculas. Esses processos também se observam no caso das substâncias que compõem o prisma. Queremos dizer com isto que o mesmo tipo de interação entre a luz, os elétrons e os átomos das moléculas acontece para essas substâncias.

No seguimento, para explicar o leque de cores da dispersão da luz os autores relacionam uma maior frequência com um maior desvio e, logo adiante: *Cada feixe colorido assume direções diferentes, pois o índice de refração do meio varia com a frequência de onda.*

Na página 35 uma explicação do azul do céu é iniciada, retornando à discussão sobre ondas e partículas:

Sempre que uma onda eletromagnética, como a luz, por exemplo, incide sobre uma carga elétrica – no caso, um elétron – ela é obrigada a vibrar na mesma frequência da onda. Ao vibrar, a carga reemite a onda excitadora em todas as direções; ela é espalhada. Esse fenômeno chama-se espalhamento. Não havíamos mencionado anteriormente que a reemissão das ondas é seletiva. As de maior frequência tendem a ser mais espalhadas do que as de menor. A intensidade do espalhamento é proporcional à quarta potência da frequência (f^4).

A seguir, os autores tratam da interação da luz com os elétrons das moléculas de O_2 e N_2 .

Freire Jr. (1998), em resenha publicada no *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, assim comenta o livro paradidático supracitado:

Os autores resolveram o delicado problema de apresentar fenômenos como a emissão da radiação eletromagnética por átomos e moléculas, cuja compreensão rigorosa demanda o recurso à teoria quântica, portanto fora do escopo do ensino usual de Física no ensino médio, com o expediente didático de explicar tais fenômenos recorrendo a modelos clássicos aproximados, mas tomando o cuidado de explicitar aos leitores o problema e o necessário recurso à física quântica para uma explicação mais rigorosa.

Terrazzan (1992) já apontava critérios para uma reformulação do ensino que incluísse tópicos de Física Moderna e Contemporânea no antigo 2º grau:

O processo de seleção dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, adequados ao tratamento na física do 2º grau, deve se basear no equilíbrio entre as necessidades que a própria ciência física impõe para que haja consistência na apresentação dos tópicos e para que privilegie leis gerais e conceitos fundamentais. Deve-se refletir também sobre as possibilidades de desenvolvimento desses tópicos com poucas exigências de cálculos matemáticos.

Não se trata, é claro, de abandonar o estudo da Física Clássica, mesmo porque, em muitos momentos, ela é o suporte para o entendimento dos conceitos desenvolvidos na Física Moderna, a qual lhe sucedeu historicamente.

A compatibilidade do estudo da Física Clássica e da Física Moderna, dentro da mesma programação de três anos de 2º grau, talvez seja o problema mais difícil a ser enfrentado, de modo a garantir a aceitação e, conseqüentemente, as chances de sucesso de uma reformulação do tipo proposto.

Nessa perspectiva, uma sugestão possível seria a inserção de temas relativos à Física Moderna e Contemporânea, como decorrência da discussão dos limites dos modelos clássicos.

Outra possibilidade a ser investigada é a de se apresentar os conceitos, os modelos e as teorias da Física Moderna, sem se fazer referência aos modelos e aos conceitos clássicos. Há autores que defendem essa idéia.

Pode-se dizer que, em geral, não se admite mais a possibilidade de um retorno aos antigos manuais, os quais apresentavam rudimentos de Física Moderna em seguida ao estudo do Eletromagnetismo, ao final do 2º grau, considerando assim que a compreensão destes novos conceitos depende de uma compreensão exaustiva dos conceitos de Física Clássica.

Ostermann e Moreira (2000) elencaram quais seriam os tópicos de Física Moderna e Contemporânea que deveriam ser abordados no Ensino Médio para atualização curricular conforme a opinião de físicos, pesquisadores em Ensino de Física e professores de Física do

Ensino Médio. Concluíram que os principais tópicos seriam efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular e fibras ópticas.

Em Carta ao Editor da Revista Brasileira de Ensino de Física, Pena (2006) elenca justificativas de autores nacionais para a inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.

Dominguini (2012) faz uma análise sobre a forma como a Física Moderna está inserida em livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM). Conclui que os autores dos livros atribuem importâncias distintas à inserção da Física Moderna no Ensino Médio: alguns a consideram imprescindível enquanto para outros está em segundo plano atrás da Física Clássica; alguns livros dedicam capítulos exclusivos à Física Moderna, enquanto outros incluem pequenos textos ou comentários ao longo dos capítulos (e todos os capítulos versam predominantemente sobre Física Clássica).

Greca e Moreira (2001) fazem uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da Mecânica Quântica introdutória e classificam os estudos em três linhas principais: *artigos sobre concepções dos estudantes a respeito de conteúdos de Mecânica Quântica, trabalhos com críticas aos cursos introdutórios de Mecânica Quântica e estudos contendo propostas de novas estratégias didáticas.*

Nas críticas aos cursos introdutórios esses autores mencionam que alguns:

artigos criticam as abordagens que tentam estabelecer elos com a Física Clássica, ora através da utilização de analogias ondulatórias, ora a partir do uso de uma reconstrução histórica "sui generis" do processo que levou à criação da Mecânica Quântica. A tentativa de amarrar os conceitos quânticos aos conceitos clássicos que os estudantes já conhecem, como é o caso da introdução da equação de Schrödinger em analogia com as ondas mecânicas em cordas vibrantes é criticada fortemente por Rüdinger (1976)¹, pois dificultaria a compreensão da superposição de estados. García-Castañeda (1985)² também critica a utilização exclusiva de características ondulatórias para descrever as características dos sistemas quânticos. Segundo Nussenzweig (1998)³ desenvolver a mecânica ondulatória favorece "a ilusão de que basta estender um pouco as idéias sobre ondas clássicas" para entender os princípios quânticos.

¹RÜDINGER, E. On the teaching of introductory quantum mechanics. *American Journal of Physics*, New York, v. 44, n. 2, p. 144-148, Feb. 1976.

²GARCÍA-CASTAÑEDA, M. An abuse with the wave properties of matter. *American Journal of Physics*, College Park, v. 53, n. 4, p. 373-374. Apr. 1985.

³NUSSENZWEIG, M. *Curso de física básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. v.4.

Ostermann e Ricci (2005) propõem evidenciar diferenças entre objetos clássicos e quânticos com “entrada” pela Óptica Ondulatória explorando analogias de situações e semelhanças da Óptica e da Mecânica Quântica através de dois *softwares* livres do tipo “bancada virtual”. Um dos *softwares* apresenta uma simulação do interferômetro de Mach-Zehnder e o outro simula o experimento da fenda dupla em feixes de elétrons.

Parisoto e Moro (2010), elaboraram um texto de apoio com material teórico e sugestões de atividades que foi aplicado em um Curso de Extensão para universitários, de 30 horas, intitulado “Aplicações de Eletromagnetismo, Óptica, Física Moderna e Contemporânea na Medicina”. Seu objetivo foi disponibilizar um material potencialmente significativo à aprendizagem destes tópicos.

Kneubil (2013), a partir de sua experiência como participante da “Escola de Professores do CERN 2011”, procurou mostrar que, mesmo ambientes onde se produz conhecimento científico e tecnológico repletos de Física moderna e contemporânea como o CERN, é possível a promoção da transmissão de informações a alunos de Ensino Médio e também são inspiradores de práticas pedagógicas com conteúdos de Física Clássica. Pois conteúdos considerados “antigos” estão muito presentes, não só nas instalações do centro como também no cotidiano dos indivíduos que lá trabalham.

Apresentam-se, a seguir e de forma resumida, outros trabalhos desenvolvidos no Mestrado Profissional em Ensino de Física, UFRGS, cujos conteúdos se relacionam de alguma forma aos temas trabalhados na presente dissertação.

Alvarenga (2008) criou uma sequência didática envolvendo conteúdos de introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da discussão do dualismo onda-partícula (tratando dos seguintes temas: Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Radiação do Corpo Negro, Difração e Interferência de Ondas, Princípio da Incerteza e a Interpretação do Experimento da Fenda Dupla com Fótons). O autor aplicou o material didático em um curso extracurricular, tendo produzido um hipertexto com animações computacionais para servir de apoio para professores e alunos na aprendizagem destes tópicos.

Silva Neto (2008) elaborou uma página na internet com ênfase na Física conceitual que serviu de apoio à disciplina de Proteção Radiológica em Curso Técnico em Radiologia Médica – Radiodiagnóstico do Colégio Cenecista São Roque (Bento Gonçalves, RS). Roteiros exploratórios, simulações e textos de divulgação científica foram elaborados e/ou adaptados. *Applets* sobre efeito fotoelétrico e efeito Compton e um *software* educacional que

simula o interferômetro de Mach-Zehnder e o caráter dual das radiações foram utilizados na proposta didática por ele experimentada.

Webber (2006) elaborou e implementou uma proposta pedagógica de introdução à Mecânica Quântica para licenciandos em Física da Universidade de Passo Fundo, RS, fazendo o uso sistemático de novas tecnologias de comunicação, sobretudo o *software Doppelspalt* do tipo “bancada virtual” que permite a realização de “experimentos”.

Griebeler (2012) elaborou uma unidade de ensino potencialmente significativa (em concordância com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel) sobre tópicos de Física Quântica (quantização, incerteza, estados e superposição de estados) com a intenção de estimular o interesse e a participação dos alunos de 4 turmas de 3º ano do Ensino Médio de uma escola estadual de Bagé, RS.

Em suma, diversos são os trabalhos que procuram introduzir tópicos de Física Moderna em disciplinas de Física Geral e/ou no Ensino Médio. Todavia este trabalho se relaciona em maior grau com aqueles que se utilizam da Física Clássica como suporte para o entendimento dos conceitos desenvolvidos na Física Moderna e, desta última, como decorrência da discussão dos limites dos modelos clássicos.

CAPÍTULO 3

REFERENCIAL TEÓRICO

Encontram-se no Construtivismo de David Ausubel e Lev Vygotsky os referenciais para os processos de aprendizagem desencadeados.

O objeto de estudo da teoria de Ausubel é a cognição. Considera que o fator mais importante que influencia na aprendizagem é aquilo que o indivíduo já sabe. Do ponto de vista instrucional cabe então ao educador *mapear* a estrutura cognitiva do aprendiz e ensinar de acordo.

Ausubel destaca três condições para que ocorra a aprendizagem significativa:

- o aluno deve estar predisposto a aprender;
- a nova informação deve ser potencialmente significativa;
- devem haver *subsunçores* apropriados na estrutura cognitiva do aprendiz, relacionáveis com o material a ser aprendido.

Pretendeu-se buscar apoio na teoria de Ausubel no sentido de:

- partir do conhecimento prévio dos alunos;
- elaborar um material e situações potencialmente significativas de aprendizagem;
- formar subsunçores quando verificada a sua inexistência.

O aspecto fundamental da teoria de Vygotsky é a *interação social*. Através dela é que o sujeito desenvolve suas *funções mentais (psicológicas) superiores*. As relações sociais se convertem em funções superiores, indiretamente, pela mediação. O uso de *instrumentos* e *signos* é a forma *mediada* que o ser humano possui para *compartilhar*⁴ *significados* de seu contexto sócio-histórico-cultural.

O desenvolvimento cognitivo se dá pelas relações sociais (interpessoal) e pela forma com que o indivíduo as internaliza (intrapessoal).

A *Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)* é outro conceito fundamental na teoria de Vygotsky com relação aos processos de aprendizagem. É uma medida do potencial da aprendizagem e *representa a região onde o desenvolvimento cognitivo ocorre* (Moreira, 1999, p. 116). Na prática, é a distância entre o que o indivíduo consegue realizar sozinho (nível de

⁴ Termo *emprestado* da Teoria de Gowin, bem posterior a de Vygotsky.

desenvolvimento real) e o que só consegue realizar sob orientação de um parceiro mais capaz (nível de desenvolvimento potencial).

Como implicações didáticas da teoria de Vygotsky, na proposta didática, procurou-se proporcionar situações onde grupos ou duplas, em interação social, pudessem compartilhar a construção de significados.

No Curso de Extensão, o ambiente *Moodle* foi inicialmente pensado como ferramenta do *construcionismo distribuído* (Resnick, 1996), quando se planejou a construção de uma *Wiki* e de um *Glossário* de conceitos relativos à radiação eletromagnética, luz, cores e aplicações médicas que utilizam radiações. Posteriormente, nas disciplinas regulares dos cursos de graduação, o ambiente foi utilizado somente como ambiente facilitador da disponibilização de material didático e de entrega de tarefas.

Também, o contemporâneo ensino por competências estimulado tanto pelos PCNs (BRASIL, 1999), PCN + do Ensino Médio (BRASIL, 2002) e Orientações Curriculares para o Ensino Médio (BRASIL, 2006) influenciou a proposta metodológica aplicada ao se tentar desenvolver capacidade de comunicação e expressão, investigação e pesquisa e contextualização histórico cultural. Os roteiros de exploração de aplicativos propostos trabalharam simultaneamente estas capacidades, visto que a interpretação dos modelos dos aplicativos e de seus gráficos, aliada a consulta no texto de apoio, evidenciou trabalho de interpretação. Ao responder as questões dos trabalhos os alunos tiveram que se expressar. A construção dos textos em grupo, promovendo a interação social, deve ter contribuído para o desenvolvimento de aptidão da expressão. A capacidade de investigação foi desenvolvida na busca conceitual de responder as questões propostas. Todos os conteúdos abordados foram contextualizados historicamente e trataram de demonstrar onde ou porque esse conhecimento científico é relevante.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DA PROPOSTA INSTRUCIONAL

O material instrucional produzido consistiu primeiramente em um texto base que procurou contextualizar os assuntos tratados, iniciar um estudo do desenvolvimento histórico destes assuntos, apresentar as teorias e sugerir atividades experimentais e roteiros de aplicativos sobre os temas Oscilações, Ondulatória, Modelos Atômicos, Propriedades Corpusculares da Luz, Luz e Cores e Radiações ionizantes e aplicações médicas. Este texto inicial foi aplicado em um Curso de Extensão programado para interessados em Ensino de Física e depois adaptado a outras aplicações em disciplinas de um Curso de Licenciatura em Matemática, cujos egressos freqüentemente ministram disciplinas de Física no Ensino Médio da região.

4.1 Material e desenvolvimento para o curso de extensão

4.1.1 Contexto da aplicação da proposta

Pretendeu-se construir um texto base para um curso de extensão dirigido a professores de Física do Litoral Norte do RS. Em sua grande maioria, os professores de Física da região são formados no Curso de Licenciatura em Matemática da FACOS (que, em 2008, apresentava sete disciplinas relacionadas com Física e Ensino de Física) e que, portanto, carecem de uma melhor formação em Física.

4.1.2 Conteúdos abordados

O texto base foi constituído de temas que raramente são tratados no Ensino Médio das escolas da região: Oscilações, Ondulatória, Modelos Atômicos, Propriedades Corpusculares da Luz, Luz e Cores e Radiações ionizantes e aplicações médicas⁵. Com estes temas, pretendeu-se contribuir para a formação de *subsunçores* apropriados a uma introdução à Física Moderna e apresentar uma visão abrangente sobre formas de interação da radiação com a matéria.

Os temas foram distribuídos em quatro unidades assim descritas:

- Unidade 1 – Oscilações e Física Ondulatória;
- Unidade 2 – Modelos atômicos, Radiação de Corpo Negro, Efeito Compton e Efeito Fotoelétrico;

⁵ Destes temas, apenas Ondulatória e um pouco de cores eram tratados em algumas poucas escolas da região. O assunto cores até o ano letivo de 2008 só era tratado na óptica geométrica, quando se abordava o fenômeno da dispersão da luz.

- Unidade 3 – Luz e Cores;
- Unidade 4 – Raios X, Gama e Beta e Aplicações Médicas.

A Unidade 1 do texto tratou de Oscilações e Física Ondulatória predominantemente na Mecânica Clássica.

Sobre o tema oscilações e movimento harmônico: inicia com o questionamento *onde encontramos osciladores* para servir de ponto de partida de uma discussão inicial que justificaria o estudo sobre o tema. A seguir, é apresentado um pequeno texto relacionando oscilações e formas de medir o tempo e só então é apresentada uma definição de oscilações harmônicas e sua relação com instrumentos musicais harmônicos. Posteriormente, define-se o movimento harmônico simples (MHS) a partir do movimento circular uniforme (MCU) e se obtém equações cinemáticas; a seguir, aplica-se a segunda lei de Newton a um MHS e chegou-se à resolução por tentativa da equação diferencial. Condições cinéticas e dinâmicas de um MHS também são apresentadas. Por fim, são sugeridas tarefas com aplicativos da rede e softwares como o *Tracker*⁶.

Sobre o tema Física Ondulatória: sugere-se uma sequência de atividades relativas à Física Ondulatória, Som e Radiação Eletromagnética que poderiam compor uma prática pedagógica norteada pela visão abrangente do texto *A matéria, uma aventura do espírito - fundamentos e fronteiras do conhecimento físico* (Menezes, 2005). Também, são sugeridas atividades exploratórias de objetos de aprendizagem e atividades experimentais demonstrativas relativas a ondas e à acústica.

Versando sobre modelos atômicos e propriedades corpusculares da luz, a Unidade 2 é dividida em duas partes. Na primeira, é apresentada de forma introdutória uma síntese histórica sobre o conhecimento da natureza da luz e sobre a constituição da matéria, os modelos atômicos, até o ano de 1927, quando se verificou a difração de elétrons para depois apresentar, em sequência, as propriedades corpusculares da luz, radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico e efeito Compton. A partir da abordagem histórica, se passou para a exploração dirigida de aplicativos disponíveis na *Web*.

As abordagens clássicas aproximadas a noções quânticas dos processos de absorção e reemissão da radiação eletromagnética pela matéria iniciam a Unidade 3 e servem como uma introdução para a discussão do tema “cores”. São comparados os espalhamentos Thomson e Compton de raios X, o efeito fotoelétrico e o espalhamento de Rayleigh (que justifica porque

⁶ Tracker. Disponível em: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker>, Acesso em: 27 out. 2014.

o céu é azul). A absorção e a reflexão baseadas em vibrações como oscilações forçadas são então aprofundadas e, recorrendo-se ao modelo de Bohr, a absorção de energia resulta na excitação do elétron que, em retorno ao estado fundamental, emite radiação cuja frequência é consequência da diferença de energia entre os orbitais atômicos. Também são tratadas nesta unidade Porque o céu é azul, o por do sol é vermelho alaranjado, nuvens brancas e cinzas, as diferenças entre os fenômenos de dispersão e espalhamento, interferência de luz policromática após incidir em rede de difração e atividades sobre cores no computador com sistema RGB.

A Unidade 4 trata de uma introdução à Física das Radiações Ionizantes com uma ênfase nos aspectos históricos e em suas aplicações médicas. Inicia-se definindo as radiações ionizantes para em seguida apresentar um pequeno histórico do desenvolvimento desta área de conhecimento desde a construção dos primeiros tubos de raios catódicos passando por Roentgen, Becquerel, Casal Curie, até 1902 quando Rutherford e Soddy publicaram o artigo “A Causa e a Natureza da Radioatividade”. Aproveitando a discussão sobre a fluorescência dos raios X de Roentgen em certos sais metálicos, depois a relação entre fluorescência e raios X realizada por Poincaré, sobre a Hiperfosforescência de Becquerel que os Curie combateram, a seguir é discutida a fosforescência, a fluorescência nos dias de hoje e as telas intensificadoras (*écrans*) ainda utilizadas em radiologia médica. Outro equipamento desenvolvido na mesma época, o eletrômetro baseado no efeito piezoelétrico de Pierre e Jacques Curie também é destacado. Segue na introdução à Radioatividade, apresentando as formas de decaimento radioativo, o conceito de meia-vida e sua aplicação na datação por análise radioativa. Os aspectos históricos retornam com a produção da radioatividade artificial pelo casal Irene Curie e Frederick Joliot em 1934 e o Nobel de Química de 1935. Volta-se ao estudo dos raios X enfocando suas formas de produção. Depois de diferenciar irradiação com contaminação, são apresentadas as aplicações médicas das radiações ionizantes: raios X médico convencional, mamografia, tomografia (com evolução das gerações de tomógrafos), medicina nuclear diagnóstica e terapêutica, e as formas de radioterapia. No estudo do tema de tomografia são indicados sítios da rede com pequenos aplicativos que permitem compreender a tomografia linear axial por técnica de retro projeção.

Como já relatado, os resultados do Curso de Extensão não estiveram a contento, tanto pelo reduzido número de participantes, quanto pelo envolvimento dos alunos e, por termos pecado na própria organização dos encontros (na época, ainda em uma fase embrionária). Então, a partir dos resultados obtidos nesta primeira aplicação, procurou-se aplicar e estender o texto de apoio (Apêndice D) e as metodologias propostas a quatro disciplinas do curso de

Licenciatura em Matemática da FACOS: Física II, Física IV, Metodologia do Ensino de Física e Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio. Também se experimentou, por quatro semestres, aplicar parte do material sobre Radiações Ionizantes e Aplicações Médicas no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, disciplina do Curso de Biofísica.

4.2 Material e desenvolvimento para as disciplinas do curso de Licenciatura em Matemática

4.2.1 Disciplina - Física II

A disciplina de Física II na matriz curricular do Curso de Licenciatura em Matemática da FACOS tinha, em 2009, a seguinte ementa: Oscilações. Ondas em meios elásticos. Ondas sonoras. Gravitação e Astronomia. Temperatura. Calor e Primeira Lei de termodinâmica. Teoria Cinética dos Gases. Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica.

Assim, para tratar os temas Oscilações, Ondas em Meios Elásticos e Ondas Sonoras foi feita uma adaptação da Unidade 1 do Texto de Apoio (Apêndice D). Foi proposto um trabalho para ser realizado pelos alunos sobre MHS, pêndulo simples e MCU e outro sobre ondas (atividades do texto de apoio). Além disto, foi realizado um pré e um pós-teste que procurou verificar como o grupo percebia oscilações e ondas no seu cotidiano antes e depois da aplicação do material instrucional. No pós-teste foi acrescentada uma questão onde os alunos poderiam comentar sobre o tema abordado e a metodologia utilizada.

Após uma apresentação teórica inicial, foi derivado o MHS como projeção do MCU em processo de diferenciação progressiva e, também, em uma atividade com um aplicativo da rede onde um MHS se torna um MCU (quando um parâmetro é selecionado). Pretendeu-se, neste caso, propiciar condições para uma reconciliação integrativa.

Em semestres posteriores, quando a disciplina de Física IV já não constava na Grade Curricular do Curso de Matemática, atividades envolvendo ondulatória e luz e cores do Texto de Apoio foram incluídas também na disciplina Física II.

4.2.2 Disciplina - Física IV

Na época da aplicação deste trabalho, esta disciplina tinha a seguinte ementa: Ondas eletromagnéticas. Natureza e propagação da luz. Reflexão e Refração. Ótica Geométrica. Interferência. Difração. Redes de difração e espectros. Polarização. A luz e a Física Quântica. Ondas e partículas. Teoria da relatividade. Radiações ionizantes. Utilizando o material do Texto de Apoio, foram realizadas duas avaliações com os alunos divididos em grupos, uma com roteiro de aplicativos em Laboratório de Informática versando sobre a interação dos raios

X com a matéria (efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares) e outra envolvendo os experimentos espectro do hidrogênio, rede de difração e máximos de interferência em anteparos (espectrofotometria), efeito fotoelétrico, decaimento alfa e beta, meia-vida na medicina nuclear e dualidade onda-partícula.

Em semestres posteriores, esta disciplina foi extinta com alguns tópicos fazendo parte da disciplina de Física II (Ondas, Acústica e Luz e Cores) e outros na Física III (Modelos Atômicos e Radiações Ionizantes).

4.2.3 Disciplina - Estágio supervisionado em Física no Ensino Médio e Metodologia do Ensino de Física

A partir do ano de 2009, na disciplina de Metodologia do Ensino de Física e Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio, foram estimuladas a criação e a aplicação de projetos de micro-ensino envolvendo vários temas, entre estes alguns relacionados com esta dissertação, Acústica, Óptica, Luz e Cores e Radiações Ionizantes como preparação para o Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio. Como fonte principal para início da preparação de cada projeto adotou-se as unidades do texto de apoio. Assim, a utilização de novas tecnologias e outras atividades propostas no texto de apoio foram inicialmente difundidas nas escolas de ensino médio do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Posteriormente, alunos egressos deste Curso de Licenciatura em Matemática ingressaram no magistério e passaram a utilizar algumas metodologias e tópicos deste Texto de Apoio.

4.3 Disciplina de Biofísica no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas

Nesta disciplina, em quatro semestres consecutivos (2009/2 a 2011/1) foram utilizados tópicos e atividades relacionados com Radiações Ionizantes e aplicações médicas do Texto de Apoio (Apêndice D).

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

A proposta de ensino aqui descrita foi inicialmente aplicada em um curso de extensão para professores da rede de ensino da região do Litoral Norte do RS, egressos e formandos do curso de Licenciatura em Matemática da FACOS, em Osório, RS. Com carga horária planejada de 48 horas-aula, este curso foi realizado de agosto até dezembro de 2008, abordando uma sequência de atividades programadas para professores que atuam em disciplina de Física no Ensino Médio. Entre formandos e formados em Matemática, 12 interessados se inscreveram no curso, mas somente 6 obtiveram frequência igual ou maior a 75%. Destes, apenas 2 efetivamente lecionavam Física na época.

Como o número de participantes do curso de extensão foi reduzido, o envolvimento do grupo com a proposta não foi a contento, e ainda, como esta primeira aplicação pecou pelo excesso de atividades práticas sem uma sequência didática apropriada, resolveu-se aplicar o material instrucional em disciplinas do curso de Licenciatura em Matemática da mesma faculdade: Física II e IV. Para tal, as atividades foram modificadas e outras criadas para adequá-las ao novo contexto. Na disciplina de Física II foram desenvolvidas atividades sobre Oscilações, Física Ondulatória e, de modo particular, a Acústica. Já na Física IV os assuntos tratados foram Óptica Física, Cores, Modelos Atômicos e Radiações Ionizantes. Também na disciplina de Biofísica do curso de Biologia da FACOS foi trabalhado um texto do Texto de Apoio (Apêndice D) de introdução as radiações ionizantes.

Será relatado, a seguir, como se deram as diferentes aplicações da proposta didática.

5.1 Relatos das aulas do Curso de Extensão

5.1.1 Relato da Aula 1

Inicialmente, foi apresentada a proposta do curso e, a seguir, foi solicitado aos alunos que fizessem suas inscrições no ambiente *Moodle* que seria utilizado para disponibilização de materiais e para a interação professor-alunos e aluno-aluno. Nesta primeira aula compareceram apenas 6 alunos, sendo 3 professores já licenciados e 3 formandos na Licenciatura em Matemática da FACOS. O motivo da ausência dos demais inscritos no Curso foi o fato de que não haviam recebido informação da data de seu início.

Foi entregue o texto de apoio correspondente a Unidade 1 – Parte 1. A seguir, foi apresentada a video-aula 16 - Movimento Harmônico do conjunto de vídeos “Universo Mecânico” de David Goodstein (Goodstein *et al.*, 1985). Como no vídeo era apresentada a

solução da equação diferencial do oscilador massa-mola horizontal sem atrito, foi discutida no quadro a resolução utilizando-se uma solução tentativa. Foi comentado com os alunos que essa, obviamente, não seria uma opção apropriada ao Ensino Médio. Foram apresentadas as grandezas alongação, velocidade e aceleração do movimento harmônico simples (MHS) a partir da projeção de um movimento circular uniforme (MCU) em um dos eixos. Como parte dos alunos não lembrava do MCU, foi feita uma revisão deste assunto. Pouco antes do intervalo, foi filmado o movimento de um pêndulo. A partir do vídeo deste movimento foi utilizado o programa *Tracker* para análise do vídeo onde foi encontrada a equação da alongação como função do tempo do MHS correspondente. Os alunos puderam visualizar a adequação da curva teórica com os pontos medidos.

Depois do intervalo foram apresentadas as grandezas cinemáticas do MHS a partir da projeção do MCU em um dos eixos. Depois foram acessados alguns *Applets* indicados no material da Unidade 1 – Parte 1.

No final, foi solicitado aos alunos que eles falassem o que achavam de apresentar o MHS no Ensino Médio a partir do MCU. Somente um professor se manifestou. Argumentou que dificilmente abordaria MHS no Ensino Médio e, se abordasse, não incluiria as demonstrações das expressões das variáveis cinemáticas a partir das projeções do MCU. Analisaria apenas em que pontos se tem alongação, velocidade e aceleração máximas em módulo ou nulas, tal como foi realizado utilizando-se um dos *Applets*.

5.1.2 Relato da Aula 2

Compareceram 9 alunos (somente 2 professores que atuam em Física no Ensino Médio, 3 formandos e outros 4 licenciados em Matemática). Foi entregue o texto da Aula 2 e, a seguir, foram realizadas atividades utilizando-se o *software Visual Analyser*⁷ e diversos materiais (diapasões, flauta doce, garrafa *long neck* com água e calha em U de alumínio). Com estes recursos foram realizadas as seguintes atividades experimentais: ressonância entre diapasões, relação entre oitavas com flauta doce, ondas estacionárias em tubo de uma extremidade aberta e outra fechada, batimentos entre diapasões e entre frequências geradas pelo *software Visual Analyser* e uma estimativa da velocidade de propagação do som na calha de alumínio. Também foram observadas franjas de interferência por difração de um laser por um fio de cabelo distinguindo processos de interferência espacial com interferência temporal

⁷ VISUAL ANALYSER. Disponível em: www.sillanumsoft.org. Acesso em 10 set. 2014.

(batimentos). Depois, com uma câmara fotográfica e filmadora, foi filmado frontalmente um toca discos com um pino vertical em MCU no plano horizontal e, novamente como o *software Tracker*, foi obtida a elongação como função do tempo para o MHS correspondente (MHS como projeção do MCU). Pôde-se constatar boa concordância entre teoria e medidas realizadas e analisadas com o *Tracker*. A partir da observação, foram visualizados ainda os gráficos da velocidade e da aceleração como função do tempo do MHS correspondente ao movimento filmado. Estas atividades foram demonstrativas e centralizadas, mas os alunos participaram auxiliando na montagem experimental, aquisição de dados e modelagem matemática.

Após o intervalo, foram retomados alguns tópicos da teoria da primeira aula: definição do MHS como projeção do MCU, definição cinemática do MCU e sua definição dinâmica, $F = -C \cdot x$ e o período do MHS. Foi discutido, a seguir, pêndulo simples com $C = m \cdot g / l$ e o seu período. Aproveitando-se o estudo do pêndulo simples, foi realizada uma atividade experimental de estimativa da aceleração da gravidade a partir do comprimento e do período de um pêndulo simples. Foi encontrado um valor aproximado de $9,4 \text{ m/s}^2$. Isto serviu para a discussão sobre o resultado de uma medida experimental e foram elencadas pelo grupo e comentadas pelo professor regente as possíveis causas de erro na estimativa. Os alunos calcularam e encontraram diferença no valor estimado em relação ao valor esperado de 5%.

No final do encontro foi aberta nova discussão sobre a viabilidade e justificativa de introdução do MHS no Ensino Médio com uma abordagem similar a que foi realizada no curso. Um professor-aluno argumentou que o assunto requeria conhecimento de funções seno e cosseno e que teriam dificuldade na identificação da fase inicial e montagem de função apropriada para descrever elongação, velocidade e aceleração. E por estes motivos seria muito difícil apresentar o MHS desta forma a seus alunos. O outro professor em Física do grupo então comentou que ele mesmo ainda tinha dificuldades em dar um significado físico à pulsação ou à frequência angular, enquanto que no MCU tinha bom entendimento da velocidade angular.

5.1.3 Relato da Aula 3

Compareceram novamente 9 alunos. Duas alunas faltaram e apareceram outras 2 que haviam se inscrito, mas não tinham sido avisadas do início do curso antes da primeira aula.

Inicialmente, foram realizados comentários e orientações sobre o texto disponibilizado na segunda aula com o intuito de familiarização com o texto e facilitar a leitura.

Iniciou-se uma exploração do *Applet Ondas em uma Corda* do PHET Colorado disponível em http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_pt.html (acesso em 12/04/2013). Foi disponibilizado um roteiro de exploração para a atividade a ser realizada a distância (Sugestão item D.1.2.2.3 da Unidade 1 do Texto de Apoio (Apêndice D)).

Com a mola *slink* foram visualizadas ondas longitudinais, transversais e espiraladas, a variação do comprimento de onda com a frequência e a superposição de dois pulsos na interferência construtiva (com um estudante na outra extremidade da mola). A tentativa de obtenção de interferência destrutiva não foi bem sucedida.

Foi lembrado que os batimentos, discutidos na aula anterior, também se tratam do fenômeno de interferência, assim como na difração de laser por um fio de cabelo. A analogia proposta no livro "Física Conceitual" de Paul G. Hewitt da interferência com o que acontece com dois pentes de distâncias entre dentes diferentes também foi examinada em aula. Foram visualizadas diferentes figuras de interferência a partir de lâminas transparentes e retroprojektor conforme proposto por Dornelles Filho (1998). Ao lado da imagem do retroprojektor foi desenhada a Figura 3 de Braun (1994) representando o experimento de fenda dupla de Young e as condições de máximos e mínimos.

Depois do intervalo, os alunos estavam propensos a aprender a trabalhar com o *software Tracker*. Os únicos alunos do curso que atuam como professores de Física tinham marcado para o dia seguinte encontro com alguns alunos interessados em aprender a utilizar o programa. Então foram disponibilizados dois vídeos. Um com um pêndulo simples e outro com o pino vertical em um toca-discos. No Laboratório de Informática, em duas duplas e um trio, os alunos foram explorando o *Tracker* e analisando os movimentos filmados sob a mediação do professor regente.

Por fim, após retorno ao Laboratório de Física, foi feita uma exposição sobre a polarização por absorção e realizada demonstração com polarizador e analisador em banco óptico.

5.1.4 Relato da Aula 4

Na quarta aula compareceram 7 alunos.

Quase até a hora do intervalo, seguiu-se a introdução histórica da evolução do conhecimento sobre a natureza da luz e a constituição da matéria (modelos atômicos) que consta na Unidade 2 - Parte 1 do Texto de Apoio. Um professor que atua em Física no Ensino Médio comentou ter sido muito interessante conhecer aquela sequência histórica para

compreender como os avanços sobre a natureza da luz e da matéria aconteceram e que nunca havia se deparado com enfoque similar.

Aproximadamente vinte minutos antes do intervalo, explorou-se o *Applet* sobre Radiação de Corpo Negro (disponível em http://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_pt.html). Este *Applet* apresenta as curvas de radiância espectral de corpos negros a diferentes temperaturas e a correspondente coloração visualizada. Um dos objetivos da análise desse *Applet* era uma preparação para a realização de um trabalho que fariam à distância (conforme Atividade item D.2.1.3.1 da Unidade 2 do Texto de Apoio).

Depois do intervalo, os alunos foram questionados sobre já terem tido contato em cursos anteriores com o tópico Efeito Fotoelétrico. Todos os sete alunos presentes confirmaram já terem tido um primeiro contato com o assunto. Assim a turma foi dividida em três grupos e cada um explorou uma simulação diferente (entre as disponíveis em http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Photoelectric_Effect, http://www.walter-fendt.de/ph14br/photoeffect_br.htm e http://rived.mec.gov.br/atividades/concurso_2005/Efeitofotoeletrico/Anima%e7%e3o/foto_mod7.swf) sobre o Efeito Fotoelétrico. Cada grupo, depois, deveria apresentar aos colegas as potencialidades, dificuldades e outras observações específicas de cada *Applet*. Um grupo identificou que no *Applet* do PHET Colorado tinha um comprimento de onda onde as bolinhas que representavam os elétrons pareciam “andar mais rápido” (por volta de 197 nm). Depois, diminuindo o comprimento de onda ainda mais, pareciam ir um pouco mais lentas. Questionaram se seria impressão deles ou isto de fato seria previsto teoricamente. Um dos participantes que atuam como professores de Física manifestou-se dizendo que não estava vendo o porquê do aplicativo apresentar a possibilidade de variação de tensão. Após o grupo estar consciente de suas dúvidas iniciou-se a introdução teórica ao Efeito Fotoelétrico de acordo com a sequência apresentada na Unidade 2 – Parte 1 do Texto de Apoio.

Finalizando o encontro, foi realizado o seguinte experimento com eletroscópios e lâmpada UV: Inicialmente foi atritado um bastão de PVC com uma flanela. A seguir, com o contato do bastão com um eletroscópio este foi carregado negativamente como se observou através da lampadinha de néon NE 2H (conforme sugerido no trabalho *Como identificar o sinal de uma carga elétrica* (AXT, 1994)). Então, o eletroscópio foi descarregado por exposição a uma lâmpada UV sendo anotado o tempo desde o início da exposição até o eletroscópio estar totalmente descarregado. Infelizmente, devido ao adiantado da hora, não foi possível ainda nesta aula carregar positivamente por indução o eletroscópio com o mesmo

bastão de PVC para depois expô-lo à radiação UV e observar uma maior demora em descarregar o eletroscópio. Ficou para a aula seguinte.

5.1.5 Relato da Aula 5

Neste dia compareceram 9 alunos. Inicialmente, foi aplicado um instrumento de diagnóstico sobre luz e cores (pré-teste) com as seguintes questões:

- 1) O que você entende por dispersão da luz?
- 2) O que você entende por espalhamento luz?
- 3) Por que o céu é azul em dias de baixa nebulosidade?
- 4) Por que o céu é cinza em dias de alta nebulosidade?
- 5) Como se explica os tons vermelhos alaranjados do pôr do Sol?
- 6) Por que durante um eclipse total da lua ela pode ser visualizada com um tom alaranjado?
- 7) Disserte sobre cores primárias nos processos de coloração por adição e por subtração.

Depois que os alunos responderam as questões foi novamente realizado o experimento com eletroscópios e uma lâmpada UV, desta vez completo. Inicialmente, o eletroscópio foi carregado negativamente (por contato) e descarregado com a lâmpada UV para, num segundo momento, carregá-lo positivamente (por indução) e também tentar descarregá-lo com exposição à lâmpada UV. Verificou-se que uma demora maior ocorria para descarregar o eletroscópio carregado positivamente. Os alunos foram, então, desafiados a explicar o ocorrido. Depois de algumas argumentações e mediações o grupo reconheceu que era o efeito fotoelétrico que ajudava a descarga ser mais rápida quando o eletroscópio estava carregado negativamente. Mas se verificou a concepção intuitiva de que, quando o eletroscópio está carregado positivamente, não existem elétrons disponíveis para serem arrancados, assim explicando porque, nestas condições de carga, o eletroscópio demora mais para descarregar.

A seguir foi retomado o experimento da Fenda Dupla de Young encontrando-se funções para máximos e mínimos em aproximações para pequenos ângulos. Ao lado do desenho da demonstração foram projetadas as figuras de interferência utilizando-se as lâminas de retroprojeter sugeridas por Dornelles Filho (1998). Assim, pode-se observar que a distância entre os máximos centrais é diretamente proporcional à distância entre a fonte e o anteparo, diretamente proporcional ao comprimento de onda e inversamente proporcional à distância entre as fontes. Além desta representação de interferência usando lâminas transparentes e retroprojeter também foi utilizada uma cuba de ondas, primeiro com ondas

planas incidindo em fendas e depois direto com ondas circulares produzidas por dois pinos tocando na superfície d'água com frequência controlada pelo potenciômetro. Os alunos comentaram que a visualização dos máximos e mínimos é melhor com as lâminas de retroprojektor. Um dos participantes que atuam como professores de Física do ensino médio comentou que já tinha tido aula sobre aquele assunto, mas que só agora tinha visualizado os máximos e mínimos na cuba de ondas.

Após o intervalo, a montagem experimental consistiu de um banco óptico com rede de difração, luz branca incidindo na rede e máximos coloridos sobre uma régua graduada. Máximos vermelhos bem mais afastados do centro que os azuis. Com a função dos máximos de interferência da rede de difração, medindo-se a distância da rede ao anteparo e a distância entre o máximo central e o primeiro máximo, só o vermelho, se obteve uma estimativa do comprimento de onda (vermelho).

No Laboratório de Informática cada grupo falou das possibilidades, limitações e dúvidas sobre cada *Applet* do Efeito Fotoelétrico analisados (Rived, Fendt e PHET Colorado; já citados no Relato da Aula 4). A partir disso, foram comparadas as simulações e eleita, por consenso, a do PHET Colorado como mais apropriada para uso no ensino médio. Em cursos de extensão nos parece muito difícil motivar os alunos a fazer tarefas ou estudar o material em casa. Foi observado neste encontro que somente um ou dois alunos do curso de extensão estavam lendo os textos do Texto de Apoio entre as aulas e que ainda se fazia necessário retomar radiação de Corpo Negro, Efeitos Fotoelétrico e Compton, para só então apresentar os Modelos Atômicos.

5.1.6 Relato da Aula 6

Compareceram 5 alunos nesta aula, que iniciou com uma breve revisão histórica de concepções científicas sobre a luz. O caráter ondulatório da luz foi observado antes do eletromagnético (proposto por Maxwell), pois o experimento da fenda dupla de Young antecedeu ao experimento de Hertz (oscilações de cargas geram ondas eletromagnéticas que podem fazer oscilar outras cargas). Difração, interferência e polarização são fenômenos tipicamente ondulatórios também observados por Hertz. Enquanto, a Radiação de corpo negro, o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton revelam seu caráter corpuscular.

Após esta diferenciação, foram apresentadas de forma expositiva abreviada e em conformidade com o Texto de Apoio Unidade 2 - Parte 1, a Radiação de Corpo Negro, o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton.

Ainda antes do intervalo foram apresentadas diversas analogias dimensionais em relação às dimensões do átomo, tendo como referência os textos de Feynman – Física em seis lições e Hewitt – Física Conceitual. Estas analogias realmente impressionaram os alunos.

Após o intervalo, foram apresentados os modelos atômicos de Dalton, de Thomson, de Rutherford e de Bohr. Previsões experimentais a partir dos modelos atômicos de Thomson e de Rutherford foram confrontadas através do aplicativo Espalhamento de Rutherford disponível em http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Rutherford_Scattering.

Se o modelo de Thomson tivesse maior correspondência com a realidade as partículas alfa não sofreriam qualquer desvio. Mas o experimento de Rutherford verificou para algumas poucas partículas alfa, não apenas um desvio, mas inclusive, um retroespalhamento, permitindo-se inferir que no átomo haveria um núcleo muito pequeno, positivo e denso (massivo).

5.1.7 Relato da Aula 7

A sétima aula aconteceu no dia 16/09/2008 com sete alunos. Esta aula, afora o trabalho com o aplicativo que seria realizado posteriormente, encerrou a abordagem prevista para o assunto modelos atômicos. O que estava programado para acontecer em quatro encontros (sobre Unidades 1 e 2 do Texto de Apoio) acabou acontecendo em sete.

Em um primeiro momento, foi feita uma revisão sobre o que tinha sido abordado sobre modelos atômicos na aula anterior. A seguir, o mesmo tema foi apresentado usando-se o *data-show* e nos moldes do Texto de Apoio. Nela, foi dado destaque ao conhecimento que se tinha sobre o elétron na época. Em 1897, Thomson teria identificado elétrons, e, nos anos seguintes, teria realizado o experimento da deflexão dos raios catódicos e descoberto a sua razão carga/massa. Um aluno questionou como Thomson teria se referido aos elétrons em seu modelo atômico. Esta pergunta gerou uma discussão, quando surgiu mais uma dúvida: e quando teria a comunidade científica reconhecido que os raios catódicos são feixes de elétrons, as mesmas partículas que circundam os núcleos?

O professor mediador do curso lembrou ter relacionado, na aula anterior, o espalhamento Thomson de raios X (que acompanhou as observações experimentais do Efeito Compton) com uma reflexão ou uma colisão perfeitamente elástica (sem absorção de energia por elétrons, mudanças de orbitais e reemissão de radiação). Foi reiterado que a teoria de Thomson de espalhamento dos raios X ocorreu no início dos anos 1900 (1900 até 1904), anterior à teoria do Bohr (1913). Também foi mencionado que tanto o espalhamento

Thomson, como o seu modelo de Pudim de Passas concordavam com a Física Clássica. E que o Efeito Compton só teria sido observado em 1923.

A partir do experimento de Thomson da deflexão de raios catódicos com campo magnético e/ou elétrico foi feita a referência a como podemos visualizar a razão entre a massa e a carga de um elétron. De forma simplificada foi lembrado que é comum, em exercícios de eletromagnetismo, igualarmos a força de Lorentz à força centrípeta quando a carga em movimento entra em uma região de campo magnético uniforme, mas que isto não seria tão simples assim na trajetória do feixe de raios catódicos do experimento de Thomson.

Do experimento de Millikan foi ressaltada a engenhosidade da montagem experimental. Foi comentado ser comum nos livros do Ensino Médio, como uma simplificação didática, que a carga dos elétrons é determinada pela condição de equilíbrio entre a força peso e a força elétrica. Ressaltou-se que Millikan teria feito um trabalho muito mais complexo (começando com a complexidade da montagem do experimento) e levado em conta a força peso, a força elétrica e a força de viscosidade do meio no movimento de gotas de óleo ora subindo ora descendo em campos elétricos verticais. O trabalho se deu por observação visual em um microscópio e o que se pode observar é que a carga encontrada para as diferentes gotas eram um múltiplo inteiro de uma quantidade elementar, a carga do elétron.

Do experimento de Rutherford veio a evidência de um núcleo muito pequeno em comparação com o tamanho do átomo, massivo e positivo. Mas o modelo planetário não tinha consistência com a Física Clássica (assim como todos os modelos posteriores).

Foi mencionado que o que Bohr buscava, ao elaborar seu modelo, era conciliar a evidência da existência do núcleo com a estabilidade do átomo. E não de reproduzir as séries espectroscópicas. Um dos professores perguntou porque Rutherford não teria ido adiante e feito o que Bohr fez. Foi citado, então, que a descoberta do núcleo atômico, por si só, já era uma descoberta extraordinária, que não havia nenhum demérito em não ter ido adiante. Que Bohr teria se baseado na evidência de Rutherford.

Então foi realizada uma tentativa de confrontar as hipóteses originais de Bohr com os postulados de Bohr conforme Resnick e Eisberg (1979) e os livros didáticos dos anos 70 para cá. Foi apresentada a tradução do texto de Bohr de 1913 apresentado por Lakatos e citado por Peduzzi e Basso (2005). Um aluno, professor de Química, mencionou que era muito diferente do que aparece nos livros de química. Quando foram apresentados os postulados como descritos no livro de Resnick e Eisberg ele falou: “É assim que aparecem os postulados nos livros de Química!”

Foi ainda abordado que nos livros didáticos é comum ser citado que Bohr teria se baseado nas séries espectroscópicas para construir seu modelo. Foi então realizada a leitura de trecho do texto de Silveira e Peduzzi (2008) onde esta versão é contestada. O mesmo professor de Química comentou: “Fazem vinte anos que dou aula de química e sempre falei que Bohr partiu das séries espectroscópicas para criar seu modelo.”

Finalizando a primeira parte do encontro foram apresentadas as séries dos espectros de emissão e absorção para o Hidrogênio (Lyman, Balmer, Paschen, Brackett e Pfund) os princípios da correspondência e complementaridade de Bohr, as modificações de Sommerfeld com um modelo também híbrido (clássico e não clássico), o comprimento de onda de de Broglie (voltando a analisar o elétron) e a curiosidade do fato do filho de Thomson ter participado do estudo que levou à evidência de o elétron ter características ondulatórias, enquanto o pai ter evidenciado o seu caráter corpuscular.

Depois do intervalo foram realizadas exclusivamente atividades práticas com CDs e redes de difração. Inicialmente, uma atividade de identificação das raias espectrais de uma lâmpada de mercúrio (com filtro de UV da fabricante AZEHEB) com uma rede de difração e, depois, foram observados espectros de outras lâmpadas (de sódio da rua pela janela, fluorescente comum da sala de aula) com diferentes redes de difração, CDs e dois espectroscópios simples construídos com pedaços de CD. Todos participaram ativamente inclusive colaborando com a forma da execução da tomada dos dados, tentando reduzir os erros experimentais. Com uma tabela de comprimentos de onda das cores do livro *Luz e Cores* (Figueiredo; Pietrocola, 1997), que um aluno trouxe para a aula, foram comparados os valores dos comprimentos de onda encontrados. Houve muito boa concordância com as cores violeta e azul, com as do extremo oposto do espectro visível não foi tão boa a concordância. Isto é razoável já que as cores azul e violeta atingem seu primeiro máximo ao lado do máximo central em ângulos menores.

5.1.8 Relato da Aula 8

Nesta aula, em 23/9/2008, ocorreu a visita dos Professores Orientadores do Mestrado Profissional. Foi uma aula que versou sobre Cores.

Durante a primeira parte o Professor Fernando Lang da Silveira apresentou a palestra *Sombras coloridas: uma bela aplicação da Teoria de Young-Helmholtz* disponível em vídeo em <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=videos> (acesso em 17 de abril de 2013) e foi utilizado o *Applet Visão de Cor (Color Vision)* do PHET Colorado disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/color-vision.

Após o intervalo, foram realizadas as seguintes atividades experimentais:

- coloração de cartões conforme a cor da luz incidente utilizando-se o *Compcolor* (três canhões de luz, um verde, um azul e outro vermelho) e cartões coloridos: cartão verde iluminado por luz azul aparenta estar enegrecido, etc.

- coloração por processo aditivo em disco de Newton movido por motor homopolar (pilha, parafuso, fio cabinho e ímã de neodímio-ferro-boro) com misturas de cores primárias gerando cores secundárias e a mistura do verde, vermelho e azul tendendo para o branco (cinza ou pardo);

- coloração de fio de nylon no carretel (aparentando cor branca) em comparação com pequeno pedaço de fio de nylon transparente, o mesmo ocorrendo para grão de sal grosso transparente e pote de vidro cheio de grãos de sal, aqui com alusão ao que ocorre nas nuvens brancas e ao que ocorre em maiôs brancos quando molhados.

Além disto, foram apresentadas explicações aos seguintes fenômenos naturais vistos pelos nossos olhos: porque o céu é azul, o pôr do sol vermelho alaranjado, vidro transparente quando visto de frente, esverdeado quando visto de lado e as colorações verde, azuladas ou tendendo para a cor marrom dos mares. Para tanto foi necessário apresentar o fenômeno do espalhamento da luz ao incidir nas moléculas de oxigênio e nitrogênio da atmosfera: o espalhamento de Rayleigh (que foi diferenciado dos outros espalhamentos já vistos no curso, isto é, espalhamento Thomson e Compton dos raios X). Também foi feito um exercício teórico de verificar quais os modelos atômicos seriam compatíveis com os espalhamentos acima citados.

5.1.9 Relato da Aula 9

Na Aula 9 compareceram novamente apenas cinco alunos.

Foram realizadas mais atividades com o disco de Newton movido pelo motorzinho homopolar. Agora cada disco era formado com metade de uma cor principal e a outra metade, uma secundária complementar da forma como é indicado em Hewitt (2002, p. 466).

Também foi utilizado novamente o *Compcolor*. Desta vez para mostrar que, se aproximarmos muito um cartão de cada lâmpada, este tende a refletir a cor da lâmpada. Assim, o cartão vermelho muito próximo da lâmpada verde nos parecerá verde e não enegrecido. O mesmo procedimento foi demonstrado com luz branca que passa por uma rede de difração. Com os cartões bem próximos da rede de difração, a tendência é de visualização da cor selecionada independentemente da cor do cartão, quando exposto à luz branca. Isto para enfatizar que a cor dos objetos depende do objeto, da luz que o ilumina e do observador.

Foram apresentados os princípios da teoria das cores oponentes de Hering (Goodwin, 2005, p. 86). Isto porque os fenômenos de pós imagem não são explicados pela teoria tricromática de Helmholtz e Young. A seguir, foram visualizadas projeções com figuras de determinada cor, tendo no seu entorno a sua cor complementar. Solicitava-se que cada um dos alunos observasse durante algum tempo a projeção. Após era retirada a imagem, ficava apenas uma projeção de luz branca. Assim, foram observadas pós imagens onde as cores primárias e suas complementares *trocavam de posição*.

Ainda para demonstrar que o assunto Cores não se restringe à Física e à Fisiologia, mas que devem ser levadas em conta variáveis psicológicas, foram apresentadas imagens que continham a mesma cor circundada por cores distintas. Nossa percepção de cor avalia tonalidades diferentes para a mesma cor, dependendo de seu entorno. Assim um retângulo na cor magenta circundado por azul nos parecerá mais avermelhado que outro da mesma cor circundado por vermelho (que nos parecerá mais azulado).

A seguir, foi apresentado um teste de daltonismo do livro Luz e Cores de Figueiredo e Pietrocola (1997).



Figura 3.1: Qual é a cor da camiseta? [Fonte: Foto cedida pelo Prof. Fernando Lang da Silveira.]

Projetando-se o *slide* 16 da apresentação *Sombras Coloridas: uma bela aplicação da teoria de Helmholtz e Young*, de autoria do Prof. Fernando Lang da Silveira⁸, foi solicitado que os alunos argumentassem a respeito das cores, processos aditivos ou subtrativos que

⁸ Apresentado no vídeo no intervalo de execução de 38min34s a 39min. Disponível em: http://lief.if.ufrgs.br/pub/videos_fisica/Sombras%20coloridas.AVI. Acesso em: 20 out. 2014.

porventura poderiam estar ocorrendo, explicando as cores laranja e amarelo da foto. Os alunos iniciaram uma discussão que foi interrompida no horário do intervalo.

Na volta do intervalo o grupo se deslocou para o laboratório de informática.

Foram então orientados a abrir a apresentação *Sombras Coloridas: uma bela aplicação da teoria de Helmholtz e Young*, slide 16 e abrir outras duas janelas: Uma com o *Applet Cor Luz do Rived*⁹ e outra no aplicativo “Percepção de Cor” do PHET Colorado disponível em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/color-vision.

Foi solicitado, então, que explorando um dos *Applets* (ou os dois) construíssem uma argumentação sobre os tons percebidos na foto.

Demoraram um pouco. Mas, aos poucos foram argumentando. Um aluno verificou que retirando um tanto de verde do amarelo percebe-se laranja. Mas os alunos não se convenceram que isto acontecia da mesma forma na foto. A sombra teria que diminuir tanto em verde como em vermelho. Por que o verde é mais retirado? A grama em volta é verde. Se não tivesse a grama em volta também pareceria laranja? A grama atrás da camisa então estaria influenciando o laranja? Ou a grama de trás influencia no amarelo e, na verdade, a camisa é laranja quando exposta à luz branca? Estes foram os questionamentos. Como o grupo permanecia em dúvida foi solicitado que continuassem tentando desvendar o desafio e que seria colocado no *Moodle* um Fórum para essa discussão.

Por fim os alunos foram solicitados a produzirem as cores marrom, violeta e rosa tanto no aplicativo “Percepção de Cor” como em um editor de texto, optando pela escolha das diferentes intensidades (entre 0 e 255) do vermelho (R), verde (G) e azul (B). Depois de um tempo de exploração foi mostrado que na Wikipédia (<http://pt.wikipedia.org>) é mostrado tanto no sistema RGB como no CMYK (e outros) quais são as intensidades relativas de cada cor.

5.1.10 Relato da Aula 10

Compareceram 7 alunos à Aula 10. Inicialmente foi aplicado o pré-teste sobre Radiações Ionizantes e Aplicações Médicas.

Foi comentado pelo professor mediador que por repetidas vezes estava se realizando abordagens clássicas aproximadas a noções quânticas dos processos de absorção e reemissão da radiação eletromagnética pela matéria. Voltou-se a falar de absorção e emissão tanto para espalhamento Thomson de raios X, quanto para espalhamento de Rayleigh (do céu azul ou do

⁹ Disponível em: http://rived.mec.gov.br/atividades/concurso2006/cores/art_coresrived.swf. Acesso em: 20 out. 2014.

por do sol laranja avermelhado) destacando a relação entre as frequências incidentes e naturais de oscilação, e entre o tamanho das partículas em relação aos comprimentos de onda da radiação incidente enfatizando que nestes processos não há ressonância. Também foi comentado como Hewitt (2002) aborda o efeito estufa (outro fenômeno de interação da radiação com a matéria) e como podemos abordar cores por processos de absorção (identidade, ressonância) e reflexão (reemissão por oscilação forçada não ressonante (modelo clássico) sem recorrer a modelos de orbitais atômicos). Também foram lembradas as diferenças entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico destacando os modelos do átomo e as épocas em que foram feitas as elaborações teóricas sobre estes fenômenos. Por fim, foi mencionado que em uma primeira aproximação quântica do modelo híbrido de Bohr, pode-se pensar a reemissão de fótons por átomos como um processo decorrente do retorno do elétron em orbital excitado a seu estado fundamental.

Como forma de revisão sobre a Unidade 2 - Propriedades Corpusculares da Luz e Modelos Atômicos e como tentativa de se fazer uma reconciliação integrativa ao tópico geral radiação e matéria foram explorados os *Applets a dualidade onda-partícula, a interação do raio X com a matéria* (efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares) e *modelo de Bohr para hidrogênio* (Disponíveis em: <http://www.pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Multimedia/Simulacoes/Fisica-Moderna-e-Contemporanea>. (Acesso em: 20 out. 2014.)

Ao final da primeira parte da aula iniciou-se uma apresentação expositiva introdutória à Física das radiações ionizantes.

Após o intervalo, o encontro se deu em um Laboratório de Informática. Como nem todos os alunos haviam feito considerações sobre o desafio da cor da camisa no *Fórum de Discussão do Moodle*, os alunos foram solicitados a entrar no Fórum, ler as postagens e fazer alguma publicação. Além dos alunos, o professor mediador acrescentou ao fórum novo desafio abaixo transcrito:

Quem consegue um equacionamento mais aproximado das cores que vemos na foto?

Como uma equação com bases no R, G e B:

No sol:

$$(R255 G185 B0)+(R0 G70 B0)=R255 G255 B0$$

Laranja intenso + um tanto de verde = Amarelo intenso

Na sombra:

$$0,85 * (R255 G185 B0)$$

Laranja escuro.)

5.1.11 Relato da Aula 11

Seis alunos compareceram a este encontro que iniciou com uma visita ao laboratório de radiologia da FACOS.

O laboratório de radiologia mencionado é um ambiente que simula uma sala de exames de radiologia médica convencional e o processamento de filmes de raios X em sala clara e escura com processadora automática. A sala de exames apresenta mesa de exames, *bucky* mural, um equipamento emissor de raios X (sem alimentação), comando que permite uma hipotética escolha de kVp, mA e tempo de exposição ou mAs¹⁰, área de comando atrás de um biombo com visor e um gerador desativado. Chassis com telas intensificadoras para filmes radiológicos de diferentes tamanhos, dois aventais plumbíferos, dois protetores de tireóide, um óculos plumbífero, luvas e protetores de gônadas completam os equipamentos permanentes do laboratório.

Ainda foram disponibilizados para este encontro dosímetro (TLD), câmara de ionização, dois contadores Geiger (um analógico e um digital) e uma fonte teste de Césio de baixa intensidade (que acompanha a câmara de ionização).

Aspectos legais que regulamentam o funcionamento destes serviços aliados à Física envolvida na emissão de raios X, formação da imagem, escolha apropriada de kVp, mA e tempo ou mAs por parte do operador, radioproteção e dosimetria foram apresentados.

Após a visita, o grupo retornou ao Laboratório de Física. Em apresentação expositiva com um *data-show* foi relatado o desastre do Cs137 de Goiânia enfatizando-se a relação entre a massa efetivamente radioativa inicial e o lixo radioativo final, meia-vida (a partir do aplicativo *radioactive-dating-game* do PHET Colorado, disponível em Português em http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/radioactive-dating-game, acesso em 18/04/2013), as diferenças entre irradiação (e conseqüente exposição de indivíduo) e contaminação, entre fontes seladas e não seladas e diferenças entre medicina nuclear e radioterapia.

5.1.12 Relato da Aula 12

Compareceram 6 alunos neste penúltimo encontro do Curso de Extensão.

No Laboratório de Informática os alunos acessaram em duplas a Unidade 4 do Texto de Apoio. Como um *hiperlink* deste texto foi acessado o hipertexto do *Física 2000* da

¹⁰Ver seção 4.8.2 da Unidade 4 do Texto de Apoio, Apêndice D.

Universidade do Colorado *Esquadrinhadores de TAC* (Escáner TAC, em espanhol e na versão em inglês CAT Scans, disponível em <http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl> (acesso em 18/04/2013). Neste texto os princípios da Tomografia são apresentados de forma a explicar como imagens tridimensionais são formadas a partir de radiografias planas superpostas. Para tanto, apresenta projeção de sombras no plano, simula incidências de raios X em uma figura plana em diferentes direções e apresenta a retroprojeção como forma de (re)-compor a imagem escaneada.

Depois, acessando-se o sítio, disponível em:

[http://www.im-uff.mat.br/puc-](http://www.im-uff.mat.br/puc-rio/cdfvv/livro/javaview/applets/tomography/campo.minado.html)

[rio/cdfvv/livro/javaview/applets/tomography/campo.minado.html](http://www.im-uff.mat.br/puc-rio/cdfvv/livro/javaview/applets/tomography/campo.minado.html),

um jogo foi utilizado para mostrar que o computador pode manipular a imagem formada deixando a possibilidade do operador e/ou médico mostrar a fatia ou corte que lhe convier.

O professor mediador, antes do intervalo, ia passando pelas duplas, acompanhando o que estava sendo explorado e comentando.

Depois do intervalo, foram apresentados os tipos e as gerações de tomógrafos e mais uma vez discutidas a diferença entre irradiação e contaminação, diferença entre medicina nuclear e radioterapia, formas de radiodiagnóstico, o que é radiação ionizante e alguns efeitos biológicos das radiações ionizantes.

Finalizando o encontro, foram projetados alguns trechos de vídeos sobre Marie Curie, Pierre Curie, Becquerel e a descoberta da Radioatividade enfatizando-se que Becquerel não descobriu a radioatividade, que procurava desvendar o fenômeno que chamou de hiperfosforescência, supostamente uma reação química de acordo com Martins (1990); que o casal Curie cunhou o termo radioatividade, os elementos químicos radioativos que o casal identificou e as dificuldades étnicas, religiosas e de gênero a que Marie Curie foi submetida.

5.1.13 Relato da Aula 13

No dia 16 de dezembro compareceram seis alunos e aconteceu nova visita do co-orientador do Mestrado Profissional.

Neste dia os alunos apresentaram propostas didáticas embasadas nos tópicos do curso.

Além disto, foi aplicado o pós-teste sobre Radiações Ionizantes e um Questionário Final sobre o curso realizado.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados da aplicação da proposta tanto no Curso de Extensão quanto nas disciplinas dos Cursos de Licenciatura em Matemática e de Ciências Biológicas da FACOS.

6.1 Curso de extensão

Foi aplicado um questionário inicial e verificou-se que:

- a maioria dos participantes era Licenciado (e outros licenciandos) em Matemática, sem uma formação específica em Física;
- apenas dois deles estavam, naquele período, atuando como professores de Física no Ensino Médio;
- não tinham prática no ensino (e nem nos conhecimentos específicos) dos tópicos de Física alvos do curso;
- embora alguns deles conhecessem *applets* e ambientes virtuais de aprendizagem, nenhum tinha prática em sua utilização;
- o mesmo para a utilização pedagógica de *Wikis*, mapas conceituais, diagramas V e glossários.

6.1.1 Relação dos resultados dos pré-testes versus do pós-testes

No pré-teste sobre o conteúdo de cores verificou-se que os alunos desconheciam, com correção conceitual, a dispersão da luz, seu espalhamento, o porquê do azul do céu, do céu cinzento, das cores do por do sol, do alaranjado da lua em eclipse, quais as cores primárias e distinções dos processos de coloração por adição e por subtração.

No pré-teste sobre conceitos relacionados à Radiação eletromagnética: Radiações ionizantes e aplicações médicas, também se verificou desconhecimento dos conceitos e fenômenos físicos abordados (diferença entre contaminação irradiação, produção de raios X, diferença entre raios X e raios Gama, tomografia, radioterapia e medicina nuclear, relação de um exame radiográfico com os efeitos fotoelétrico e Compton e a natureza dual da Luz).

O pós-teste sobre cores não apontou melhora conceitual significativa em relação à primeira aplicação. Apenas em poucas respostas se verificaram indícios de avanços conceituais, ainda distantes de aprendizagens significativas.

O mesmo se verificou com o pós-teste sobre radiação eletromagnética: radiações ionizantes e aplicações médicas. Índícios de poucos avanços conceituais sem aprendizagens significativas.

No Questionário Final de Avaliação do curso pode-se observar nas respostas boa receptividade do grupo aos temas trabalhados, metodologias e tecnologias utilizadas.

Os resultados obtidos na aplicação ao Curso de Extensão não estiveram a contento tanto pelo reduzido número de participantes quanto pelo seu envolvimento extraclasse e organização didática dos encontros. Por exemplo, tarefas para serem realizadas no ambiente *Moodle* não foram feitas e o construcionismo distribuído não se consumou. Em um curso de extensão como o realizado, não se costuma associar uma nota ou um conceito com a aprovação do participante e nem sempre o grupo se dedica às atividades propostas fora do horário das aulas. Também se pecou, nesta primeira aplicação, pelo excesso de atividades em um mesmo encontro, sem uma sequência didática apropriada. Então, se procurou aplicar e estender o Texto de Apoio e as metodologias propostas a disciplinas do curso de Licenciatura em Matemática da FACOS: Física II, Física IV, Metodologia do Ensino de Física e Estágio supervisionado em Física no Ensino Médio. Também se experimentou, por quatro semestres, aplicar parte do material instrucional sobre Radiações Ionizantes e Aplicações Médicas na disciplina de Biofísica do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas.

6.2 Curso de Licenciatura em Matemática

Serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na aplicação do material instrucional separadamente para cada uma das disciplinas do curso.

6.2.1 Física II

De forma distinta ao Curso de Extensão, onde foram aplicados somente instrumentos de avaliação individuais, nesta disciplina além do pré e do pós-teste (realizados individualmente) foram utilizados instrumentos de avaliação de trabalhos realizados em grupos.

6.2.1.1 Análise dos resultados do trabalho sobre MHS, pêndulo simples e MCU

A análise das respostas do trabalho sobre MHS, pêndulo simples e MCU (primeira parte do Apêndice B) indica que o material disponibilizado é potencialmente significativo à aprendizagem destes tópicos. Além disto, verificou-se o desenvolvimento na habilidade de utilização de planilhas eletrônicas. Apesar de todos os grupos enfrentarem dificuldades em

elaborar os gráficos correspondentes em planilhas eletrônicas, todos reconheceram a relevância de dominar a sua utilização.

Uma vez que, na apresentação teórica inicial, partiu-se do MCU para apresentar o MHS em processo de diferenciação progressiva, pretendeu-se com a questão 2 do referido trabalho, propiciar condições para uma reconciliação integrativa (partindo do pêndulo simples (MHS) e retornando a um MCU). Isto foi feito aproveitando as possibilidades do aplicativo utilizado em uma experiência de pensamento com a extinção hipotética do campo gravitacional no pêndulo em movimento. Os grupos logo perceberam que o movimento com $g=0$ tratava-se de um MCU. No entanto, a primeira resposta para a questão 2 que surgiu em todos os grupos apontava para valores nulos tanto da energia potencial gravitacional quanto para a força resultante. Tentou-se, então, de forma dialogada com o grande grupo, demonstrar a inconsistência deste raciocínio. Por fim todos os grupos responderam esta questão acertadamente.

6.2.1.2 Análise dos resultados do trabalho sobre Ondas

Entre os 5 grupos, 3 (60%) relacionaram de forma adequada as grandezas amplitude e frequência com intensidade e altura do som.

Somente um grupo (20%) concluiu que a velocidade do som é constante para todas as frequências. Isto deve ter resultado pelos métodos que os grupos utilizaram para a medida de tempo do movimento da onda sonora simulada pelo aplicativo. Após a entrega final deste trabalho foi mostrado aos alunos como utilizar o aplicativo (Ondas sonoras /Sound do PHET Colorado disponível em <http://phet.colorado.edu/pt/simulation/sound>) para medir o tempo adequadamente (utilizando o cronômetro e *play/pause* passo a passo).

Também, a forma como mediram o tempo do movimento simulado no aplicativo influenciou outros itens do trabalho. Salvo um ou outro equívoco de atenção dos grupos, as respostas apresentadas na questão 2 se aproximaram das respostas esperadas.

6.2.1.3 Relação dos resultados do pré-teste *versus* do pós-teste

As respostas para as Questões dissertativas (1 até 8) do pré e do pós-teste não foram transcritas para o Apêndice B, mas revelam que, após a aplicação da proposta, o grupo melhorou o seu entendimento sobre ondas presentes no seu cotidiano.

A análise realizada das respostas das questões objetivas (9 até 10) no pré-teste e (9 até 12) no pós-teste apresentada no Apêndice B demonstra que, após a aplicação da proposta, o grupo avançou no entendimento conceitual de fundamentos de Física ondulatória.

Quanto à questão do pós-teste onde os alunos poderiam comentar sobre o tema abordado e sobre a sua opinião sobre a metodologia usada, seus comentários demonstram que o grupo teve boa receptividade à metodologia utilizada com destaque às atividades experimentais, atividades experimentais em conjunto com o uso do *software Visual Analyser*, vídeos e trabalhos dirigidos a partir de simulações. Também reconheceram a viabilidade e a importância do conteúdo de Oscilações e Ondas compor a grade curricular do Ensino Médio visto estar tão presentes no cotidiano.

6.2.2 Física IV

6.2.2.1 Relação dos resultados do pré-teste *versus* do pós-teste sobre cores

Conforme se observa na Tabela C.1 do Apêndice C, das 10 questões do pré e do pós-teste sobre cores, 9 delas apresentaram mais acertos no pós-teste. Somente na questão 10 ocorreu o inverso. No pós-teste, sete alunos (enquanto que nenhum no pré-teste) assinalaram uma resposta incorreta, que o alaranjado da lua cheia em eclipse ocorre pela dispersão da luz azul.

Quanto à questão 11 do pós-teste, como não apresentava afirmativa verdadeira e os alunos consideraram que todas as questões deveriam ter, pelo menos, uma assertiva verdadeira, os resultados correspondentes não foram levados em conta.

Na questão 12 se verificou que as duas respostas mais assinaladas pelo grupo são antagônicas, nos permitindo inferir que não houve compreensão significativa de que a teoria tricromática não aborda aspectos fisiológicos e psicológicos.

Em relação aos aspectos positivos e/ou negativos sobre as aulas e atividades realizadas sobre cores, as respostas para a questão dissertativa do pós-teste demonstram no geral que o grupo gostou da diversidade de atividades realizadas e dos assuntos tratados. Alguns reclamaram das instalações do laboratório de Física, onde alunos sentam em bancos e o espaço é pequeno para 37 alunos. Como consequência da falta de espaço, algumas atividades não ficaram com boa visualização para todos os grupos. Outros disseram que faltou maior ligação entre teoria e prática. Talvez isto tenha acontecido, pois, após terem sido realizadas várias atividades experimentais e utilizadas simulações, logo em seguida foi realizado este pós-teste como avaliação (teórica) na disciplina.

6.2.2.2 Trabalho com aplicativos – A interação dos raios X com a matéria

Esta atividade foi realizada com a turma dividida em 9 grupos com uma média de 4 alunos por grupo. Uma avaliação mais aprofundada deste trabalho encontra-se no Apêndice

C. No geral, os grupos tiveram um bom aproveitamento. O grupo com menor percentual de acertos desta atividade obteve aproximadamente 82% de acertos. Já a média da turma ficou em 87,9%.

6.2.2.3 Trabalho final do segundo bimestre de Física IV (ano letivo 2009)

Este trabalho incluiu experimento sobre espectro do hidrogênio, rede de difração e máximos de interferência em anteparos (espectrofotometria) e atividades sobre Efeito fotoelétrico, decaimento alfa e beta, meia-vida na medicina nuclear e dualidade onda partícula.

Esta atividade também foi realizada com a turma dividida em 9 grupos com uma média de 4 alunos por grupo e uma avaliação mais aprofundada deste trabalho encontra-se no Apêndice C. No geral os grupos tiveram um bom aproveitamento. O grupo com menor percentual de acertos desta atividade obteve 73,6% de acertos e a média entre os grupos foi de 85% de acertos.

6.2.2.4 Avaliação de aspectos gerais

Agora será descrita a avaliação das últimas aulas, do uso de aplicativos em trabalhos em grupo, da viabilidade de se trabalhar estes assuntos no Ensino Médio e de qualquer outro comentário sobre a disciplina, sobre o professor e sobre as metodologias utilizadas:

- 8 entre os 9 grupos reconheceram o uso de aplicativos como recurso facilitador da aprendizagem;

- verificou-se que os trabalhos em grupo têm boa aceitação entre os alunos, por facilitar a aprendizagem ou por acreditarem ser mais fácil a obtenção de um bom conceito (nota) do que em uma avaliação individual;

- 5 grupos se manifestaram quanto à viabilidade destes assuntos (experimento espectro do hidrogênio, rede de difração e máximos de interferência em anteparos (espectrofotometria), efeito fotoelétrico, decaimento alfa e beta, meia-vida na medicina nuclear e dualidade onda-partícula) serem tratados no Ensino Médio: 3 consideraram o assunto muito complexo e por isso inviável, um considerou possível apesar de admitir os temas como “complicados” e 1 (um) grupo sugeriu que, para práticas no Ensino Médio, não fossem realizadas provas, e sim, trabalhos em grupos com aplicativos;

- 3 grupos se manifestaram quanto à disciplina Física IV (as manifestações foram transcritas mantendo a grafia original): *A disciplina de física IV é de grande importância pois se a base q precisamos para se assim for lecionar física no ensino médio (Grupo 1); A*

disciplina de Física IV é um pouco diferente das demais físicas que tivemos no curso (Grupo 2); Foi uma disciplina muito produtiva, aulas com um bom rendimento, trabalhos bem elaborados e interessantes (Grupo 3).

- sobre o professor e as metodologias utilizadas (as manifestações foram transcritas mantendo a grafia original): Sobre o professor utiliza de concepções intuitiva dos alunos e demonstra um grande conhecimento do conteúdo. Sobre a metodologia foi de grande aprendizado e interesse para o grupo; só achamos o conteúdo um pouco complicado mas o professor soube conduzir assim interagindo bastante com a turma (Grupo 4). O professor esse semestre, ao nosso ver se destacou devido ao fato de diferenciar o modo de aplicar a matéria (Grupo 5). Em geral, as aulas do professor são construtivas e o professor auxilia e instrui bastante, fazendo com que tenhamos um bom rendimento (Grupo 6). Agradecemos o esforço do professor por nos trazer novas perspectivas no ensino de física (Grupo 7). Um bom trabalho do professor (Grupo 8). E por fim: A teoria e a prática não ficam claras, pois não estão interligados. Nas aulas há muita conversa, pois o professor não possui domínio sobre a turma, o que dificulta o aprendizado. Achamos que o professor deve ser mais pragmático. O conteúdo é complexo e as explicações não são claras (os termos utilizados dificultam o entendimento). (Grupo 9)

6.2.3 Disciplina Metodologia do Ensino de Física e Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio

A partir do ano letivo de 2009 na disciplina de Metodologia do Ensino de Física e Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio foram estimuladas a criação e a aplicação de projetos de micro-ensino envolvendo entre outros temas não relacionados com esta dissertação, Acústica, Óptica, Luz e Cores e Radiações Ionizantes como preparação para o Estágio Supervisionado em Física no Ensino Médio. Como fonte principal para início da preparação de cada projeto adotou-se as unidades do Texto de Apoio. Assim a utilização de novas tecnologias e outras atividades propostas no Texto de Apoio foram inicialmente difundidas nas escolas de Ensino Médio do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Posteriormente, alunos egressos deste Curso de Licenciatura em Matemática ingressaram no magistério e passaram a utilizar algumas das metodologias e tópicos deste Texto de Apoio.

6.3 Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas

6.3.1 Disciplina de Biofísica

Nesta disciplina, em quatro semestres consecutivos (2009/2, 2010/1, 2010/2 e 2011/1) foram utilizados tópicos e atividades relacionados com Radiações ionizantes e aplicações médicas do Texto de Apoio.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram propostos textos e atividades para apresentação de temas relacionados com oscilações/ondas, radiações eletromagnéticas, cores, propriedades corpusculares da luz, modelos atômicos, radiações ionizantes e aplicações médicas em cursos introdutórios de Física Geral de Cursos de Licenciatura e um Curso de Extensão para professores de Ensino Médio.

Em uma primeira aplicação os textos e atividades foram testados em um Curso de Extensão para interessados em Ensino de Física em um total de 52 horas-aula. Tanto o reduzido número de participantes, quanto seu baixo envolvimento com a proposta não permitiram uma avaliação sobre os textos e metodologias sugeridos. Acredita-se que este curso de extensão, de forma isolada, não proporcionou uma aprendizagem significativa aos seus participantes. Mas oportunizou um primeiro contato com o uso de novas tecnologias no ensino de Física e com textos e atividades para introdução aos tópicos relacionados com luz e cores, propriedades corpusculares da luz, modelos atômicos, radiações ionizantes e aplicações médicas formando e transformando *subsunçores* sobre estes conteúdos.

A proposta então foi utilizar parte do material instrucional e aplicá-la em distintas disciplinas do Curso de Licenciatura em Matemática da Faculdade Cenequista de Osório (FACOS) e do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da mesma faculdade.

De forma geral, verificou-se que atividades com roteiros de exploração de aplicativos (*applets*) podem constituir material potencialmente significativo à aprendizagem de tópicos de Física e, realizadas em duplas ou grupos, as atividades permitem, através da interação social que delas decorrem, que os alunos busquem compartilhar significados e desenvolver competências.

Também se estimulou o ensino e a aprendizagem de tópicos introdutórios à Física Moderna sem a pretensão de formar um curso específico de introdução a Mecânica Quântica. Pelo contrário, nas Disciplinas de Física Geral do Curso de Licenciatura em Matemática da FACOS tópicos de Física Moderna, foram abordados paralelamente a tópicos de Física Clássica.

O material instrucional desenvolvido neste trabalho de dissertação de mestrado será submetido à publicação na série “Textos de Apoio ao Professor de Física”, editada pelo

Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, para que outros professores possam utilizá-lo em sua prática docente.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, L. L.; CUNHA, S. L. S.. Introdução à física moderna no ensino médio através da discussão do dualismo onda-partícula. *Hipermídias de apoio ao professor de Física*, Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, n. 25, 2012. (ISSN 1808-3382). Disponível em: http://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n25_Alvarenga/. Acesso em 20 set. 2014.

AXT, R. Como identificar o sinal de uma carga elétrica. *Boletim GEF*, Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, n. 9, março 1994.

BLACKWOOD, O. H.; HERRON, W. B.; KELLY, W. C. *Física na escola secundária*, Brasil: Ministério da Educação e Cultura, INEP, 1958.

BRASIL. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. v. 2. Ministério da Educação, Brasília, 2006. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf . Acesso em: 20 set. 2014.

BRASIL. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Ministério da Educação, Brasília, 1999. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 20 set. 2014.

BRASIL. *Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+): Ciências da Natureza e suas Tecnologias*. Ministério da Educação, Brasília, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 20 set. 2014.

BRAUN, L. F. M.; BRAUN, T. A montagem de Young no estudo da interferência, difração e coerência de fontes luminosas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 11, n. 3, p.184-195, dez. 1994.

BUSHONG, S. C. *Manual de radiología para técnicos*. (Traducción y producción editorial: Diorki Servicios Integrales de Edición). Madrid: Elsevier, 2004.

DOMINGUINI, L. Física moderna no ensino médio: com a palavra os autores dos livros didáticos do PNLEM. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 34, n. 2, p.2502, jun. 2012.

DORNELLES FILHO, A. A. Uma representação do fenômeno de interferência de ondas utilizando lâminas transparentes e retroprojektor. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 1, p.87-91, abr. 1998.

FAVA, F. L. Por que é o céu azul. *Caderno Catarinense Ensino de Física*, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 3-5, abr. 1985.

FIGUEIREDO, A.; PIETROCOLA, M. *Luz e cores*. São Paulo: FTD, 1997.

FRANKLIN, S.; LEROY, M. Madame Curie (filme), Produção de Mervyn Leroy, Direção de Sidney Franklin, Estúdio MGM, Adaptação da biografia escrita por Eve Curie, filha de Marie

Curie, duração 124 minutos, 1943. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=P9MxLAvzEAg>. Acesso em: 27 out. 2014.

FREIRE JR., O. Resenha: luz e cores. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 15, n. 3, p. 328-329, dez. 1998.

GOODSTEIN, D. L.; BEATY, S.; APOSTOL, T. M.; FRAUTSCHI, S. C.; ARNOLD, J. G.; BUFFA, P. F.; FLETCHER, A. *The mechanical universe and beyond*. Cor. 30 min. 52 episódios. The Annenberg/CPB Project. California Institute of Technology, Southern California Consortium for Community College Television, Corporation for Community College Television. 1985. Episódio 16. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=oum&cod=_movimentoharmonico. Acesso em: 20 set. 2014.

GOODWIN, C. J. *História da psicologia moderna*. São Paulo: Cultrix, 2005.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M.A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v.6, n. 1, p. 29-56, 2001.

REF. GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. *Física térmica e óptica*. São Paulo: Editora da USP, 1993. v. 2.

_____. *Leituras de Física*. São Paulo: GREF-Instituto de Física da USP. 1998. Disponível em: <http://www.if.usp.br/gref/>. Acesso em: 10 jun. 2013.

GRIEBELER, A.; MOREIRA, M. A. Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa. *Textos de apoio ao professor de física*, v. 23, n. 6, 2012. (ISSN 1807-2763) Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v23_n6_griebeler_moreira.pdf. Acesso em 20 set. 2014.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. (Tradução: Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina). Porto Alegre: Bookman, 2002.

KNEUBIL, F. B. Explorando o CERN na física do ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 35, n. 2, p. 2501.1-10, jun. 2013.

LES PALMES DE M. SCHUTZ. Direção: Claude Pinoteau.L. Films - France 2; Cinéma Sofineurope; Canal+, 1997 (106 min), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=uBdysakJxIo>. Acesso em: 20 set. 2014.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. *Curso de Física*. São Paulo: Scipione, 2000. v. 2.

MARIE CURIE. Érase una vez... los inventores. Direção: Albert Barillé. Procidis; Canal+, 1994 (23 min 49 s), son., color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=HjOJhIlheHY>. Acesso em: 20 set. 2014.

MARTINS, R. de A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.7, (número especial), p. 27-45, jun.1990.

MENEZES, L. C. de. *A matéria: uma aventura do espírito*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005.

MOREIRA, M. A. *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: EPU. 1999.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. *Teorias construtivistas*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre, n. 10. Instituto de Física, UFRGS. 1999.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa física moderna e contemporânea no ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre, v. 5, n.1, p. 23-48, jan. 2000.

OSTERMANN, F.; RICCI, T. dos S. F. Conceitos de física quântica na formação de professores: relato de uma experiência didática centrada no uso de experimentos virtuais. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 22, n. 1, p. 9-35, abr. 2005.

PALANDI, J.; FIGUEIREDO, D. B.; DENARDIN, J. C.; MAGNANO, P. R. Física Nuclear. *Textos para o Ensino Médio: Cadernos para download*, n. 9, 2010. GEF-UFSM. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/gef/Cadernos/FisiNuc.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2014.

PARISOTO, M. F.; MORO, J. T. *Aplicações do eletromagnetismo, óptica, ondas, da física moderna e contemporânea na medicina (1ª e 2ª Parte)*. Textos de Apoio ao Professor de Física, v. 21, n.2 e n.3. Instituto de Física, UFRGS. 2010.

PEDUZZI, L. O. de Q.; BASSO, A. C. Para o ensino do átomo de Bohr no Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 545-557, dez.2005.

PENA, F. L. A. Por que, nós professores de física do ensino médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 1 - 2, março 2006.

RESNICK, M. Distributed constructionism. In: *Proceedings of the International Conference on Learning Sciences*, Northwestern University, IL USA, July 1996. IL, USA: Association for the Advancement of Computing in Education, 1996. Disponível em: <http://www.media.mit.edu/~mres/>. Acesso em: 20 set. 2014.

RESNICK, R.; EISBERG, R. *Física quântica - átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.

SANDOVAL, J. D.; SANDOVAL, J. J. S. A sensação de cor: um problema da Física? Algumas experiências para sala de aula. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 183-195, dez. 1990.

SILVA NETO, J. da. A física moderna no processo de formação de técnicos na área de radiologia médica. *Hipertexto*. Porto Alegre: Instituto de Física, UFRGS, 2008. Disponível em: <http://lief.if.ufrgs.br/~jader/>. Acesso em 20 set. 2014.

SILVEIRA, F. L. da; PEDUZZI, L. O. de Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 1, p. 26-52, abr.2006.

TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º Grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.9, n.3, p.209-214, dez.1992.

WEBBER, M. C. M.; RICCI, T. dos S. F. Inserção de mecânica quântica no ensino médio: uma proposta para professores. *Textos de apoio ao professor de física*, v. 17, n. 5, 2006. (ISSN 1807-2763) Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/ta/v17n5_Webber_Ricci.pdf. Acesso em 20 set. 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Curso de extensão: Respostas de questionários e testes^{11, 12}

A.1 Questionário inicial e transcrição das respostas

A.1.1 Objetivo da Questão 1: verificar se os participantes já realizam práticas de ensino em tópicos relativos a *radiações eletromagnéticas: luz, cores e aplicações médicas*.

Questão 1 Trabalhas temas de Física Moderna e Contemporânea em tuas práticas pedagógicas? Caso afirmativo – Que tópicos? Em que circunstâncias (onde)?

Aluno 1 *Atualmente não leciono Física.*

Aluno 2 *Não.*

Aluno 3 *Não.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Não.*

Aluno 6 *Muito pouco. Quando a física começa a não interessar mais os alunos geralmente pego o livro “O universo numa casca de Noz” e mostro algumas coisas que eu considero interessante para os adolescentes. Uso a sala normal sem demonstrações.*

Aluno 7 *Ausente.*

Aluno 8 *Ausente.*

Aluno 9 *Ausente.*

Questão 2 E quanto aos tópicos relacionados ao tema central de nosso curso *radiações eletromagnéticas: luz, cores e aplicações médicas*?

Aluno 1 *Atualmente não leciono Física.*

Aluno 2 *Não.*

Aluno 3 *Não, porque são tópicos previstos para o 3º ano do ensino médio para o qual não trabalho.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Não.*

Aluno 6 *Sim eu trabalho ou tento trabalhar bastante este assunto quando a aula camba para “radioatividade”, as perguntas dos alunos acabam sempre em micro ondas e celular.*

Aluno 7 *Ausente.*

¹¹Neste apêndiceas questões dos testes e questionários estão identificadas por “Questao n” ao invés de “n” como identificadas originalmente nos testes e questionários propostos aos alunos.

¹²Foi mantida a grafia dos alunos nas respostas aos questionamentos.

Aluno 8 Ausente.

Aluno9 Ausente.

A.1.2 Objetivo das Questões 3 a 8: verificar o conhecimento e a aplicação de objetos e ambientes virtuais de aprendizagem.

Questão 3 Conheces *applets*? Utilizas em tua prática pedagógica? Comente.

Aluno 1 *Sim, conheço. Utilizo alguns vídeos em flash.*

Aluno 2 *Não.*

Aluno 3 *Não conheço.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Não conheço.*

Aluno 6 *Sim conheço, mas não utilizo em práticas pedagógicas. Atendo seiscentos e quarenta alunos com nove conteúdos diferentes, ainda falta um pouco de organização de minha prática.*

Aluno 7 Ausente.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 4 Conheces algum ambiente virtual de aprendizagem? Utilizas em tua prática pedagógica? Comente.

Aluno 1 *Sim. Conheço.*

Aluno 2 *Mudle. Não utilizo pois não dou aula.*

Aluno 3 *Não.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Não.*

Aluno 6 *Sim conheço, mas não utilizo.*

Aluno 7 Ausente.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 5 Sabes o que é uma *wiki*? Já utilizastes alguma em tua prática pedagógica? Comente.

Aluno 1 *Sim. Não.*

Aluno 2 *Sei, mas nunca utilizei.*

Aluno 3 *Sim, mas não utilizo.*

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Não.

Aluno 6 *Conheço mas não utilizo e peço cautela no uso particular pelos alunos, algumas são públicas, prefiro utilizar minha home de meu domínio em formato privado.*

Aluno 7 Ausente.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 6 Conheces mapas conceituais ou diagramas V de Gowin? Já utilizastes em alguma prática pedagógica? Comente.

Aluno 1 *Sim. Não.*

Aluno 2 *Conheço. Adorei utilizar nas aulas de Iniciação III¹³.*

Aluno 3 *Conheço mapas conceituais, utilizo em dinâmica.*

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Não.

Aluno 6 *Desconheço.*

Aluno 7 Ausente.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 7 Sabes o que é um glossário? Já participaste da elaboração de um glossário como aluno ou como professor? Comente.

Aluno 1 *Sim. Não.*

Aluno 2 *Sei, porém devido a “correria”no último semestre não consegui utilizar.*

Aluno 3 Não.

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Sem resposta.

Aluno 6 *Muito semelhante a wiki embora tenha mais privacidade.*

Aluno 7 Ausente.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

¹³Disciplina do curso de Licenciatura em Matemática da FACOS denominada “Iniciação à prática pedagógica III – Física no Ensino Médio”.

Questão 8 Utilizas algum outro objeto virtual ou não de aprendizagem? Comente.

Aluno 1 *Sim. Utilizo de acordo com o conteúdo que estou trabalhando.*

Aluno 2 *Nunca utilizei, ainda não dou aula.*

Aluno 3 *Não.*

Aluno 4 *Sem resposta*

Aluno 5 *Não.*

Aluno 6 *Muito antigamente utilizava o Pascal para os alunos desenvolverem algoritmos que para resolução de problemas.*

Aluno 7 *Ausente.*

Aluno 8 *Ausente.*

Aluno 9 *Ausente.*

A.1.3 Objetivo das Questões 9 a 11: verificar a formação, a atividade e o interesse na área de atuação do participante do curso.

Questão 9 Qual é a tua formação?

Aluno 1 *Licenciatura em Matemática e habilitação em Física. Cursando pós-graduação em ensino de matemática.*

Aluno 2 *Graduado em Matemática.*

Aluno 3 *Licenciatura em Matemática.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Licenciatura Plena em Matemática.*

Aluno 6 *Licenciatura em Matemática e Física.*

Aluno 7 *Ausente.*

Aluno 8 *Ausente.*

Aluno 9 *Ausente.*

Questão 10 Que atividades em processos de ensino/aprendizagem exerces? Como professor? Como aluno? Outras?

Aluno 1 *Professor do estágio dos Bolsistas da 3ª OBMEP.*

Aluno 2 *Estou realizando os estágios, tentando aplicar o que é visto na FACOS.*

Aluno 3 *Professor.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Participo de cursos, palestras, oficinas e outras atividades que contribuem para uma melhor capacitação.*

Aluno 6 *Professor de física e matemática, aluno de cursos de extensão.*

- Aluno 7 Ausente.
 Aluno 8 Ausente.
 Aluno 9 Ausente.

Questão 11 Qual teu principal interesse na participação deste curso de extensão? Formação profissional? Curiosidade/hobby? Formação acadêmica? Comente.

- Aluno 1 *Curiosidade, adquirir conhecimento e formação profissional.*
 Aluno 2 *Formação acadêmica, para complementar as atividades de Física.*
 Aluno 3 *Formação acadêmica e reciclagem.*
 Aluno 4 Sem resposta.
 Aluno 5 *Formação profissional. Mesmo não atuando em sala de aula procuro me manter atualizado, participativo, em atividades que visem um melhor preparo profissional.*
 Aluno 6 *Hobby, atualização, desemburrecimento.*
 Aluno 7 Ausente.
 Aluno 8 Ausente.
 Aluno 9 Ausente.

A.2 Teste inicial sobre conceitos relacionados à Radiação eletromagnética: luz e cores

Questão 1 O que você entende por dispersão da luz?

- Aluno 1 *Entendo por dispersão da luz, é o espalhamento da luz, por meio de uma fenda dupla.*
 Aluno 2 *(*Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*
 Aluno 3 *Feixe de luz no fio de cabelo. Dispersão da luz é o estudo das formas de propagação da luz.*
 Aluno 4 *É quando atinge um corpo transparente, como um prisma, e se dispersa em diversas cores.*
 Aluno 5 Sem resposta.
 Aluno 6 *Citaria o efeito thindal como o ponto máximo do fenômeno de dispersão(espalhamento?).*
 Aluno 7 *É quando a luz atinge um corpo transparente, como um prisma, e se dispersa em diversas cores.*
 Aluno 8 Sem resposta.
 Aluno 9 Sem resposta.

Questão 2 O que você entende por espalhamento da luz?

Aluno 1 *Entendo por dispersão da luz, é o espalhamento da luz, por meio de uma fenda dupla.*

Aluno 2 *(*Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*

Aluno 3 *O espalhamento da luz é um fenômeno que explica por exemplo o céu azul ou o avermelhado do pôr-do-sol.*

Aluno 4 *O espalhamento da luz acontece quando ela contorna obstáculos.*

Aluno 5 *Ondas se espalham ao cruzar uma fenda ou objeto/obstáculo.*

Aluno 6 *A curvatura da luz ao entrar em outro meio de outra densidade.*

Aluno 7 *O ato da luz contornar os obstáculos.*

Aluno 8 *Sem resposta.*

Aluno 9 *Sem resposta.*

Questão 3 Por que o céu é azul em dias de baixa nebulosidade?

Aluno 1 *O céu é azul em dias de baixa nebulosidade porque o comprimento de onda é mais curto, fazendo fique mais próximo da atmosfera.*

Aluno 2 *(*Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*

Aluno 3 *Porque o azul tem a maior frequência (menor comprimento de onda) sofrendo espalhamento.*

Aluno 4 *Por causa das partículas que chegam com maior intensidade.*

Aluno 5 *Sem resposta.*

Aluno 6 *Luz com efeito thindal.*

Aluno 7 *Por causa das partículas que chegam com grande intensidade.*

Aluno 8 *Sem resposta.*

Aluno 9 *Sem resposta.*

Questão 4 Por que o céu é cinza em dias de alta nebulosidade?

Aluno 1 *O céu é cinza em dias de alta nebulosidade, porque está mais distante da atmosfera.*

Aluno 2 *(*Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*

Aluno 3 *Sem resposta*

Aluno 4 *Por motivo das partículas que desaceleram e não chegam com todas suas características.*

Aluno 5 *Sem resposta.*

Aluno 6 *Bloqueio parcial de todas as cores de luz.*

Aluno 7 *Por causa das partículas que desaceleram. Ainda mais, não chegando com todos suas características.*

Aluno 8 Sem resposta.

Aluno 9 Sem resposta.

Questão 5 Como se explica os tons vermelhos alaranjados do pôr do Sol?

Aluno 1 Sem resposta.

Aluno 2 *(*Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*

Aluno 3 *O tom é alaranjado em função da combinação de ângulo de entrada da luz “no horizonte” e o comprimento de onda da luz vermelha (maior comprimento de onda).*

Aluno 4 *Acontece por causa da desaceleração da luz. Que sofre um maior desvio da luz.*

Aluno 5 *Explicação está no comprimento de onda, o vermelho tem maior comprimento de onda.*

Aluno 6 *A atmosfera funciona como um prisma.*

Aluno 7 *(Por causa da sua alta temperatura que acaba por tonificar ele alaranjado.) não. Desaceleração da luz.*

Aluno 8 Sem resposta.

Aluno 9 Sem resposta.

Questão 6 Por que durante um eclipse total da lua ela pode ser visualizada com um tom alaranjado?

Aluno 1 Sem resposta.

Aluno 2 *(*Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*

Aluno 3 *Porque a luz vermelha tem maior comprimento de onda (do espectro visível).*

Aluno 4 *Acontece por causa da desaceleração da luz que sofre um maior desvio da luz.*

Aluno 5 Sem resposta.

Aluno 6 *A atmosfera funciona como um prisma.*

Aluno 7 *Por causa da luminosidade do Sol, que acaba por ter uma desaceleração devido ao impedimento da lua de parar a luz.*

Aluno 8 Sem resposta.

Aluno 9 Sem resposta.

Questão 7 Disserte sobre cores primárias nos processos de coloração por adição e por subtração.

Aluno 1 Sem resposta.

Aluno 2 (**Não lembro, a última cadeira que fiz de física foi em 2002).*

Aluno 3 *Cores primárias – pensando na combinação de alguns comprimentos de onda, teremos:*

Vermelho-verde-azul.

Cores primárias: A professora de artes dirá:

Ciano: costuma ser usado azul;

Magenta: Costuma ser usado vermelho;

Amarelo.

Enquanto que na física a combinação das 3 cores primárias resulta no branco, a combinação de pigmentos resulta em preto.

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Sem resposta.

Aluno 6 *Não estudei no segundo grau, aprendi por leitura depois de velho na faculdade, ainda não sou especialista em cores. Em sala apenas ensino as cores da física como de natureza a luz e as cores da educação artísticas que tem origem nos pigmentos. Foi incorporado a informática como dois Padrões. RGB (RED, GREEN, BLUE) e CMYK (ciano, magenta yellow) Existe uma sonegação por parte da prof^a de e. artística em ao menos cogitar a existência de outra classificação ou aspecto das cores.*

Aluno 7 *Azul, amarelo, verde.*

Aluno 8 **Cinseramente não consigo lembrar o por que há esses acontecimentos.*

Aluno 9 *Obs: Não tenho certeza das respostas, prefiro não responder qualquer coisa.*

A.3 Teste inicial sobre conceitos relacionados à Radiação eletromagnética:

radiações ionizantes e aplicações médicas

Questão 1 Qual é a diferença entre exposição e contaminação por radiação?

Aluno 1 *A diferença é que por exposição, a pessoa fica exposta ao material radioativa mas não é contaminada, e a contaminação por radiação, ocorre a contaminação, foi o que ocorreu em Goiânia com o césio 137.*

Aluno 2 *No caso da exposição não há contaminação apenas o corpo está exposto a radiação, já na contaminação ocorre o contrário.*

Aluno 3 *A dose.*

Aluno 4 *Ausente.*

Aluno 5 *O indivíduo pode ficar exposto porém protegido como por exemplo no ato de “tirar” uma radiografia e técnico se expõe de forma segura. Já na contaminação não há esse cuidado.*

Aluno 6 *Contaminação permanece resíduos de material radioativo.*

Aluno 7 *Você pode estar exposto (“em contato”) com a radiação mas não necessariamente esteja contaminada.*

Aluno 8 *Você pode estar exposto a uma radiação e não se contaminar,*

Aluno 9 *Ausente.*

Questão 2 Como são produzidos os raios X?

Aluno 1 *Os raios x são produzido por onda eletromagnética.*

Aluno 2 *Sem resposta.*

Aluno 3 *Sem resposta.*

Aluno 4 *Sem resposta.*

Aluno 5 *Ausente.*

Aluno 6 *Seria com a bomba de berílio, cobalto, cézio?*

Aluno 7 *Sem resposta.*

Aluno 8 *Sem resposta.*

Aluno 9 *Ausente.*

Questão 3 Qual é a diferença entre raios X e radiação gama?

Aluno 1 *Raio X é formados por onda e espalhamento de elétrons, e a radiação gama por ?*

Aluno 2 *O Raio X não ocasiona contaminação, se utilizado em “doses” controladas ao contrário da radiação gama.*

Aluno 3 *Frequência.*

Aluno 4 *Ausente.*

Aluno 5 *O comprimento, que diferencia.*

Aluno 6 *A letra.*

Aluno 7 *O comprimento.*

Aluno 8 *Comprimento.*

Aluno 9 Ausente.

Questão 4 O que é tomografia? Como são produzidas?

Aluno 1 *São produzida por partículas de elétrons.*

Aluno 2 *É um exame onde é utilizada radiação para detectar tumores.*

Aluno 3 *A pessoa recebe um isótopo radioativo que se deposita no órgão ou região a ser examinada em seguida são tiradas “fotons” utilizando-se a radiação emitida por esse isótopo.*

Aluno 4 Ausente.

Aluno 5 Sem resposta.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 *Exame para identificar doenças. Através das radiações.*

Aluno 8 Sem resposta.

Aluno 9 Ausente.

Questão 5 Qual é a diferença entre Medicina Nuclear e Radioterapia?

Aluno 1 *Na Medicina Nuclear ocorre o material radiativo, em que a pessoa fica muito mais exposta a radiação, e a radioterapia, existe a radiação mas a pessoa não fica tão exposta.*

Aluno 2 *Radioterapia utiliza radiação para redução de tumores diferente da medicina nuclear.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 Ausente.

Aluno 5 *A Radioterapia é a exposição de um tecido geralmente com células cancerígenas.*

Aluno 6 *Radioterapia bombardeio de células cancerígenas.*

Aluno 7 *A medicina nuclear não sei. A radioterapia é através da exposição à radiação.*

Aluno 8 Sem resposta.

Aluno 9 Ausente.

Questão 6 Qual a relação entre um exame radiológico e os efeitos Compton e fotoelétrico?

Aluno 1 *Os efeitos Compton e fotoelétrico, é formado por partículas de elétrons, e o exame radiológico também.*

Aluno 2 *Esse exame parte do mesmo princípio do efeito Compton e fotoelétrico.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 Ausente.

Aluno 5 Sem resposta.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 *O efeito fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons quando a radiação eletromagnética incide em um material.*

Aluno 8 Sem resposta.

Aluno 9 Ausente.

Questão 7 Afinal, qual é a natureza da luz? Ondulatória ou corpuscular?

Aluno 1 *A natureza da luz é ondulatória e corpuscular pois a luz é uma onda, e ocorre também o efeito fotoelétrico. Professor peço desculpa por não me lembrar, mas irei estudar e na próxima aula estarei melhor.*

Aluno 2 Sem resposta.

Aluno 3 *Para interpretar alguns fenômenos deve se entender ela como ondulatória, em outros, como corpuscular. Tendo, portanto, características dessas duas formas.*

Aluno 4 Ausente.

Aluno 5 *Ondulatória.*

Aluno 6 *As duas naturezas.*

Aluno 7 *Corpuscular.*

Aluno 8 *Corpuscular.*

Aluno 9 Ausente.

A.4 Teste final sobre conceitos relacionados à Radiação eletromagnética: luz e

cores

Questão 1 O que você entende por dispersão da luz?

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *Em contato com outra fonte de luz há a dispersão.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 *É quando a luz encontra algum obstáculo.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *Feixe de luz num colóide.*

Aluno 7 *Dispersão da luz é quando a luz em contato com alguma outra fonte se dispersa em outras cores.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 2 O que você entende por espalhamento luz?

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *A luz se propaga em contato com outra fonte de luz.*

Aluno 3 *Ocorre por exemplo quando a luz solar atinge a atmosfera terrestre e, nessa situação, os fótons da radiação azul interagem com os gases da atmosfera espalhando-se em todas direções.*

Aluno 4 *quando a luz em contato com alguma fonte (outra) se espalha.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 *Espalhamento de luz é quando a luz em contato com alguma fonte se propaga (espalha).*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 3 Por que o céu é azul em dias de baixa nebulosidade?

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *Em função do comprimento de onda da luz, onde a baixa nebulosidade permite a coloração azul do céu.*

Aluno 3 *Por causa do espalhamento da luz na atmosfera terrestre.*

Aluno 4 *por causa do comportamento da luz (onda) com a nebulosidade.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 *Por causas do comprimento de onda da luz, em baixa nebulosidade tende a visualizarmos o azul.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 4 Por que o céu é cinza em dias de alta nebulosidade?

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *Considerando-se o comprimento de onda e a alta nebulosidade o céu fica com aparência acinzentada.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 *Por causa do comprimento de onda da luz, em alta nebulosidade tende a visualizarmos o cinza.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 5 Como se explica os tons vermelhos alaranjados do pôr do Sol?

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *O tom vermelho alaranjado se justifica pelo comprimento de onda da luz.*

Aluno 3 *Por o comprimento de onda do vermelho é o maior no espectro visível e por causa do ângulo de incidência da luz solar.*

Aluno 4 *Por causa da maior atmosfera que tem que atravessar.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *A luz azul se dispersa na atmosfera.*

Aluno 7 *Por causa do comprimento de onda da luz, que ao pôr do sol tende a visualizarmos um vermelho alaranjado.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente

Questão 6 Por que durante um eclipse total da lua ela pode ser visualizada com um tom alaranjado?

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *Em função do conjunto de ondas combinadas.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 *por causa do conjunto de ondas confinadas.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *Luz do sol filtrada pela atmosfera.*

Aluno 7 *Por causa da combinação dos comprimento de onda.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 7 Disserte sobre cores primárias nos processos de coloração por adição e por subtração.

Aluno 1 Ausente.

Aluno 2 *As cores primárias nos processos por adição formam o branco com tom acinzentado e por subtração conseguimos formar outras cores duas a duas.*

Aluno 3 *As cores primárias são vermelho, verde e azul, combinando de duas em duas podemos obter todas as demais cores e combinando as 3 na mesma intensidade temos o branco.*

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *O padrão de cores primárias são difundidos atualmente sobre os nomes de CMYK e RGB.*

Aluno 7 *Quando todas as ondas primárias RGB (Vermelho, Verde, Azul) são misturadas a tendência é se obter a cor branca.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

A.5 Teste final sobre conceitos relacionados à *Radiação eletromagnética:*

radiações ionizantes e aplicações médicas

Questão 1 Qual é a diferença entre exposição e contaminação por radiação?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *Na exposição os índices de raio x estão dentro da tolerância admissível. E na radiação gama há a contaminação.*

Aluno 3 *Quando há contaminação a pessoa teve contato ou absorveu o elemento “substância” radioativo. Na exposição, exemplo, um exame de radiografia, ao sair da sala a pessoa não recebe radiação. Contaminação: ressonância com fármaco+substância radioativa. Exposição: exame de raio X.*

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *Contaminação deixa resíduo da matéria radioativa, contaminação é a exposição aos raios.*

Aluno 7 *Exposição você está exposto, mas não contaminado. Contaminação além de você ter ficado exposto foi contagiado pela radiação (Presença de material indesejado).*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 2 Como são produzidos os raios X?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *É quando elétron se desprende do átomo.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 *É quando o elétron se desprende do átomo.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 *Raio-x é quando o elétron se desprende átomo.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 3 Qual é a diferença entre raios X e radiação gama?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *Raio X quando desligamos o aparelho ele para no mesmo momento. Radiação gama é por tempo de duração do material (“meia vida”).*

Aluno 3 *Radiação gama – do núcleo do átomo Raio X> induzido.*

Aluno 4 *Raio x para quando é desligado e Raio gama é por meia vida.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *O tamanho da onda.*

Aluno 7 *Raio X para quando desligamos. Gama é por tempo de duração (meia-vida).*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 4 O que é tomografia? Como são produzidas?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *É um exame computadorizado para identificar anomalias, através de uma radiação controlada.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 *É um exame feito através de radiação.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *Sobreposição de imagens rotacionadas gerando um modelo 3D.*

Aluno 7 *É um exame computadorizado para identificarmos doenças! Através de uma radiação controlada.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 5 Qual é a diferença entre Medicina Nuclear e Radioterapia?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *Medicina nuclear é injetada e a radioterapia por tratamento com ondas.*

Aluno 3 *Medicina nuclear há contaminação. Radioterapia há exposição.*

Aluno 4 *Na medicina nuclear o elemento radioativo é introduzido no corpo. Radioterapia é feita através de ondas.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 *Radioterapia para tratamento medicina nuclear para diagnóstico.*

Aluno 7 *Nuclear injeta no corpo. Radioterapia através de ondas.*

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 6 Qual a relação entre um exame radiológico e os efeitos Compton e fotoelétrico?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *Não sei.*

Aluno 3 Sem resposta.

Aluno 4 Sem resposta.

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Sem resposta.

Aluno 7 Sem resposta.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 7 Afinal, qual é a natureza da luz? Ondulatória ou corpuscular?

Aluno 1 Ausente na primeira metade do encontro.

Aluno 2 *Ondulatória.*

Aluno 3 *É ondulatória e corpuscular, sendo “entendida” como uma, ou outra, dependendo do fenômeno.*

Aluno 4 *tem características ondulatória e corpuscular.*

- Aluno 5 Ausente.
- Aluno 6 *As duas.*
- Aluno 7 *A natureza da luz é ondulatória.*
- Aluno 8 Ausente.
- Aluno 9 Ausente.

A.6 Questionário final de avaliação do curso

Questão 1 Faça uma avaliação geral dos conteúdos abordados no curso. (o que)

Aluno 1 *Não tinha praticamente NENHUM conhecimento dos conteúdos abordados em aula, e a partir de agora, devido à falta de tempo tenho uma idéia básica, podendo aprofundar a partir de pesquisas.*

Aluno 2 *Acho que de uma maneira geral foi muito bom. Até porque acho que deveríamos ter mais cadeiras de física no curso da FACOS. O curso de extensão ajudou a preencher esta lacuna.*

Aluno 3 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 4 *Acho que o curso abordou temas muito interessantes e atuais. Fiquei muito satisfeito com o conteúdo.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 7 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 2 Avalie aspectos metodológicos do curso. (como)

Aluno 1 *Gostei da maneira COMO foram expostos os conteúdos (Material impresso, virtual (ambiente de aprendizado), informatizado, explicações, experiências, discussões*

Aluno 2 *Acredito que a metodologia foi positiva visto que houve grande interação entre alunos e professores.*

Aluno 3 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 4 *A forma como o curso foi construído foi muito bom. Foi satisfatório utilizar os programas para visualizar o conteúdo exposto.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 7 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 3 Avalie a prática docente.

Aluno 1 *Muito boa, esclarecendo todas as dúvidas e se prontificando a ajudar sempre que preciso.*

Aluno 2 *O professor foi claro e objetivo.*

Aluno 3 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 4 *O professor procurou sempre despertar o interesse nos assuntos abordados no curso. Mostrando as vantagens da utilização de cada prática mostrada.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 7 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 4 Após ter realizado o curso de extensão, qual a sua opinião sobre a viabilidade e pertinência da introdução de tópicos relativos a *radiações eletromagnéticas, luz e cores e aplicações médicas que utilizam radiações* no ensino médio?

Aluno 1 *Além de ser viável, acredito ser extremamente necessário, pois., muitas vezes, nem nós professores estamos BASICAMENTE preparados.*

Aluno 2 *Acho que é viável, porém teríamos que ter uma carga horária maior para a física no ensino médio.*

Aluno 3 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 4 *Acredito que tais temas devem ser utilizados por sua importância e atualidade.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 7 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 5 Qual sua avaliação atual sobre aplicação de objetos e ambientes virtuais de aprendizagem (*applets, Moodle, PRAL*) nas práticas pedagógicas do ensino médio?

Aluno 1 *Se a escola oferece condições físicas (Laboratório de informática) a utilização de ambientes virtuais de aprendizagem facilita a motivação e aumenta o aprendizado dos alunos.*

Aluno 2 *Gostei muito, principalmente do moodle que facilita muito o trabalho do professor.*

Aluno 3 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 4 *Avalio de forma positiva. Todavia acredito que o aluno deve ser ambientado e mais preparado para utilizar elementos virtuais. Pois, muitos alunos não tem boa base neste aspecto.*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 7 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

Questão 6 Sugestões?

Aluno 1 *Fazer avaliações quantitativas ao longo do curso, podendo ser feitas virtualmente e utilizando (como foi) o moodle para postar as avaliações. Enfim, fazer avaliações para cobrar um maior conhecimento e empenho dos participantes em geral.*

Aluno 2 *Acredito que antes do curso de extensão precisaríamos de 8h/a de nivelamento da turma.*

Aluno 3 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 4 *(Sem sugestões).*

Aluno 5 Ausente.

Aluno 6 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 7 Ausente na segunda metade do encontro.

Aluno 8 Ausente.

Aluno 9 Ausente.

APÊNDICE B - Análise dos resultados dos trabalhos realizados na disciplina Física II do Curso de Licenciatura em Matemática

Neste apêndice é descrita a análise da aplicação do material instrucional na disciplina Física II no semestre letivo 2009/2. Esta é uma disciplina cursada no 4º semestre do curso de Licenciatura em Matemática na FACOS.

B.1 Análise dos resultados do Trabalho sobre MHS, pêndulo simples e MCU

B.1.1 Atividades propostas, transcrições de respostas e análise de resultados

B.1.1.1 Atividades propostas: Atividade 1

1. Acesse o aplicativo "Movimento 2D" disponível em português em: <http://phet.colorado.edu/simulations/translations.php#pt> (também enviado para seu e-mail).

1.1 Na opção *Circular* alterne da posição *Mostrar um* para a posição *Mostrar o outro* identificando qual a seta (de que cor) representa:

a velocidade → seta _____ (verde ou azul)

a aceleração → seta _____ (verde ou azul)

1.2 Na opção *Movimento Harmônico* repita o procedimento de identificar qual a seta (de que cor) representa:

a velocidade → seta _____ (verde ou azul)

a aceleração → seta _____ (verde ou azul)

1.3 Descreva as características da posição, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia potencial, da energia cinética e da energia mecânica nas duas extremidades do movimento e no ponto de equilíbrio das oscilações deste MHS, completando a tabela abaixo:

Considere as seguintes posições: $-A$ como aquela mais à esquerda, 0 no centro de oscilação e $+A$ na posição mais à direita.

Elongação	-A	0	+A
Velocidade			
Aceleração			
Força resultante			
Energia cinética			
Energia potencial			
Energia mecânica			

Para completar a tabela, escolha dentre as palavras em **negrito** abaixo:

Velocidade: **Máxima**, **Mínima** ou **Nula**;

Aceleração: **Máxima** em módulo ou **Nula**;

Força Resultante: **Máxima** em módulo ou **Nula**;

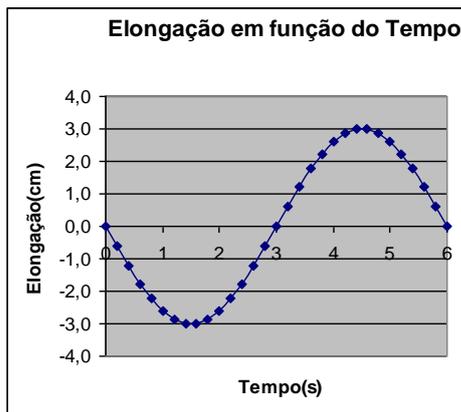
Energia Cinética: **Máxima**, **Mínima** ou **Nula**;

Energia Potencial: **Máxima**, **Mínima** ou **Nula**;

Energia Mecânica: **Constante** ou **Variável**.

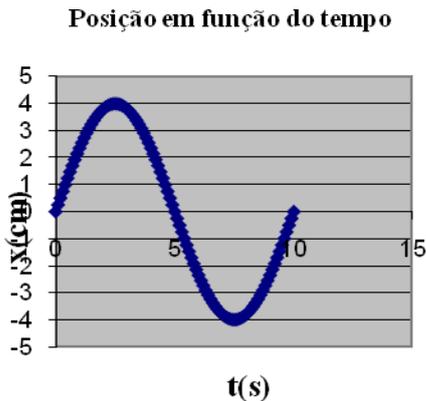
1.4 Na figura abaixo está representada a variação da posição em função do tempo para uma partícula em um Movimento Harmônico Simples. Considere a massa do corpo que realiza este MHS igual a 1kg^{14} .

1.5. Encontre as funções horárias da elongação, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia cinética, da energia potencial e da energia mecânica para este movimento.



E, para os três grupos que inicialmente apenas haviam copiado as respostas da questão, foi apresentado novo gráfico:

¹⁴(ou igual a 2kg para os três grupos que inicialmente apenas copiaram as respostas da questão.)



1.6 Faça os gráficos correspondentes à variação da elongação, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia cinética, da energia potencial e da energia mecânica com o passar do tempo em uma planilha eletrônica.

B.1.1.2 Análise dos resultados da Atividade 1

Os enunciados 1.1, 1.2, 1.3 e 1.6 eram iguais para todos os grupos. Em virtude de ter-se percebido que somente dois grupos haviam realizado as atividades 1.4, 1.5 e 1.6 e os demais haviam simplesmente copiado as respostas destas atividades, elaborou-se novos enunciados para as atividades 1.4 e 1.5 para três dos cinco grupos.

Embora não tenham reconhecido de imediato, todos os cinco grupos identificaram os vetores representativos da velocidade e da aceleração nas atividades 1.1 e 1.2. Na Tabela da atividade 1.3 somente um entre os cinco grupos demonstrou não perceber que a energia mecânica se conserva em um Movimento Harmônico Simples respondendo que a energia mecânica (última linha da tabela) é variável nos pontos de elongação máxima e mínima e constante apenas no ponto de equilíbrio.

Quanto aos enunciados das atividades 1.4 e 1.5 foram verificadas as seguintes dificuldades na elaboração das funções horárias (atividade 1.5):

Grupo 1-FII – Expressou a energia potencial em termos de uma constante C , mas não identificou o valor desta constante para a situação apresentada.

Grupo 2-FII e Grupo 3-FII – Na primeira entrega do trabalho não apresentaram as funções horárias das energias.

Grupo 4-FII e Grupo 5-FII – Na primeira entrega do trabalho não responderam a atividade.

1.5. Apresentaram maiores dificuldades em encontrar a fase inicial do movimento proposto.

E quanto à atividade 1.6, todos os grupos enfrentaram grandes dificuldades em elaborar os gráficos correspondentes em planilhas eletrônicas, visto que não dominavam a utilização do aplicativo Excel ou da planilha eletrônica do BrOffice. Foram, então, dados

novos prazos para envio dos gráficos até que todos os grupos conseguissem elaborá-los. Mesmo com as funções horárias escritas adequadamente na atividade 1.5, ainda foram entregues gráficos com erros. Apesar das dificuldades encontradas, todos os grupos apreciaram esta atividade por reconhecerem a importância de dominar a utilização de planilhas eletrônicas.

B.1.1.3 Atividades propostas: Atividade 2

2 Acesse o aplicativo disponível em:

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Pendulum_Lab (e também enviado para seu e-mail). Na tabela da direita do cenário da simulação selecione as seguintes opções:

Length (*comprimento*) = 2,0 m;

Mass (*massa*) = 1kg;

Friction none (*sem atrito*);

Real time (*tempo real*);

Earth (planeta Terra).

Não selecione **Show 2nd pendulum** (*Mostrar segundo pêndulo*).

Arraste o pêndulo 1 até a posição angular de 15°. Selecione a tecla **Play** para o pêndulo começar a oscilar.

Observação: As opções **Show velocity** (*mostrar a velocidade*) e **Show acceleration** (*mostrar a aceleração*) e **Show energy of 1** (*mostrar a energia do pêndulo 1*) podem ajudar na resolução da atividade 2.1.

2.1 Meça o período e a amplitude de oscilação do pêndulo simples nestas condições. Isto pode ser feito utilizando a opção **other tools** (*outras ferramentas*) – assim aparecerá um cronômetro e uma trena no cenário ao lado do pêndulo. Sugestão: contar o tempo de 10 oscilações completas e fazer a média.

Período medido pelo *cronômetro digital*: 2,85 s (medida realizada pelo professor).

Grupo 1-FII – 3,179s.

Grupo 2-FII – 00:28:40.

Grupo 3-FII – 28,45.

Grupo 4-FII – 285.

Grupo 5-FII – 2,84.

Amplitude medida pela *trena virtual*: 0,49 m até 0,52 m (medida realizada pelo professor).

Grupo 1-FII – 0,509m.

Grupo 2-FII – 0:509.

Grupo 3-FII – 0,592.

Grupo 4-FII – 0,592.

Grupo 5-FII – 0,59.

2.2 Qual é, então, o valor que este aplicativo atribui à aceleração da gravidade da Terra na sua superfície? (medida realizada pelo professor $g = 9,789 \text{ m/s}^2$ que é aproximadamente igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.)

Grupo 1-FII – $g=7,8125 \text{ m/s}^2$.

Grupo 2-FII – $g=9,7 \text{ m/s}^2$.

Grupo 3-FII – $g=9,71 \text{ m/s}^2$.

Grupo 4-FII – $g= 9,7 \text{ m/s}^2$.

Grupo 5-FII – $g= 9,85 \text{ m/s}^2$.

2.3 Clique em **Reset** para parar o movimento do pêndulo. Escolha agora a opção $g=0$ no quadro à direita do cenário. Volte a colocar o pêndulo na posição angular de 15° e clique em **Play**. O que ocorre? Por quê?

Grupo 1-FII – *O pêndulo fica parado, pelo fato de não haver força de gravidade no corpo.*

Grupo 2-FII – *Não ocorre nem um tipo de movimento pois $g=0$, e não existe velocidade e aceleração inicial.*

Grupo 3-FII – *O pêndulo não se move à gravidade é zero.*

Grupo 4-FII – *O pêndulo não se move, pois, a gravidade é zero.*

Grupo 5-FII – *O pêndulo não se move. Porque não possui gravidade.*

2.4 Volte a selecionar a opção **Earth** (Terra) e coloque o pêndulo em movimento. A seguir retorne à opção $g=0$.

2.4.1 Que tipo de movimento agora o móvel descreve?

Grupo 1-FII – *MCU (movimento circular uniforme).*

Grupo 2-FII – *Ocorre um movimento circular, pois já existia um movimento inicial.*

Grupo 3-FII – *É o Movimento Circular uniforme.*

Grupo 4-FII – *Movimento Circular Uniforme. MCU.*

Grupo 5-FII – *Movimento circular uniforme.*

2.4.2 O que ocorre com a energia potencial nestas condições?

Grupo 1-FII – *É nula, pelo fato da gravidade ser zero anula totalmente a função.*

Grupo 2-FII – *Nula.*

Grupo 3-FII – *A energia potencial Zero por que a gravidade é zero.*

Grupo 4-FII – *Movimento Constante, pensamos melhor e, a energia potencial zero por que a gravidade é zero.*

Grupo 5-FII – *A energia potencial também é constante.*

2.4.3 E o que ocorre com a força resultante?

Grupo 1-FII – *É constante.*

Grupo 2-FII – *Constante.*

Grupo 3-FII – *Ela é constante.*

Grupo 4-FII – *Constante.*

Grupo 5-FII – *A Força resultante porque a fórmula é massa x aceleração, sendo a aceleração constante a força também será.*

B.1.1.4 Análise dos resultados da Atividade 2

Uma vez que, na apresentação teórica inicial, partiu-se do MCU para apresentar o MHS em processo de diferenciação progressiva, pretendeu-se com esta atividade propiciar condições para uma reconciliação integrativa partindo do pêndulo simples (MHS) (e, aproveitando as possibilidades do aplicativo em uma experiência de pensamento) retornar a um MCU pela extinção hipotética do campo gravitacional sobre o pêndulo em movimento.

Na seção anterior (**B.1.1.3**), foram apresentadas apenas as respostas finais que os grupos entregaram após as discussões internas dentro de cada um dos grupos. Logo perceberam que o movimento com $g=0$ tratava-se de um MCU, mas a resposta inicial que surgiu em todos os grupos apontava para valores nulos tanto para a energia potencial como também para a força resultante.

B.2 Análise dos resultados do Trabalho sobre ondas

B.2.1 Atividades propostas, transcrições de respostas e análise de resultados

B.2.1.1 Atividades propostas: Atividade 1

1. Acessem o aplicativo *Ondas Sonoras (Sound)* disponível em português em <http://phet.colorado.edu/simulations/translations> (e também enviado para o seu e-mail).

1.1 Explore a opção *Ouça de uma Única Fonte* variando a amplitude e a frequência, ouvindo o som que vem do *Alto-Falante* e o escutado pelo *Ouvinte*. Também é possível variar a posição do ouvinte.

1.1.1 O que ocorre quando variamos a amplitude do som?

1.1.2 O que ocorre quando variamos a frequência do som?

1.1.3 Qual a diferença entre o som emitido pelo *alto-falante* e o ouvido pelo *ouvinte*?

1.1.4 Variem a posição do ouvinte e descrevam o que acontece.

1.2 Acessem a opção *Duas fontes de Interferência*. Com a opção *ouvinte*, variem a posição dele e encontrem regiões de interferência construtiva e de interferência destrutiva. Descrevam que posições são essas.

1.3 Na opção *Ouçã variando a pressão* descrevam o que ocorre à medida em que o ar é retirado da caixa que envolve o alto falante.

1.4 Na opção *Medidas meçam* em pelo menos três frequências distintas o tempo que uma frente de onda demora para percorrer uma certa distância determinando a velocidade do som usada pelo aplicativo.

1.4.1 Apresentem os valores medidos de frequência e de velocidade medida.

1.4.2 A velocidade do som muda com a variação da frequência?

2. Acessem o aplicativo disponível em:

http://www.walter-fendt.de/ph14br/dopplereff_br.htm.

2.1 Calculem a frequência em que as frentes de onda do *som* emitido pela ambulância atingem o observador quando:

2.1.1 a ambulância se aproxima do observador

2.1.2 a ambulância se afasta do observador

2.2 Se a distância entre a extremidade esquerda da casa da esquerda e a extremidade direita da casa da direita for de **50 m**:

2.2.1 qual é a velocidade do som determinada neste aplicativo?

2.2.2 qual é a velocidade da ambulância?

2.3 Se estas velocidades do som e da ambulância fossem multiplicadas por 100 (uma ambulância *turbinada*), e a frequência emitida pela ambulância fosse igual a 500 Hz (e, portanto, aproximadamente 400 X maior que no aplicativo), qual seria a frequência observada quando:

2.3.1 a ambulância se aproxima do observador?

2.3.2 a ambulância se afasta do observador?

B.2.1.2 Respostas esperadas para as atividades 1.4 até 2.3

Respostas esperadas para a atividade 1.4.1:

500Hz: 5m em 0,0149s \approx 335 m/s

111Hz: 5m em 0,0149s \approx 335 m/s

1000 Hz: 5m em 0,0149s \approx 335 m/s

Respostas esperadas para a atividade 1.4.2:

Não.

Respostas esperadas para a atividade 2.1:

Frequência emitida = $10/20=0,5$ Hz.

Respostas esperadas para a atividade 2.1.1:

Frequência observada na aproximação = $8/(6,8 \text{ ou } 7)=1,2$ a $1,1$ Hz.

Respostas esperadas para a atividade 2.1.2:

Frequência observada no afastamento = $7/22,47=0,3$ Hz.

Respostas esperadas para a atividade 2.2:

Respostas esperadas para a atividade 2.2.1:

Velocidade do som $\sim= 3,6$ m/s.

Respostas esperadas para a atividade 2.2.2:

Velocidade da ambulância $\sim= 2$ m/s.

Respostas esperadas para a atividade 2.3.1:

Frequência observada = 1125 Hz.

Respostas esperadas para a atividade 2.3.2:

Frequência observada = $321,4$ Hz.

B.2.1.3 Análise qualitativa dos resultados apresentados pelos alunos nas várias atividades

Atividade 1.1.1

Grupo 1 FII – *Quando aumentamos a amplitude do som, o som fica mais intenso, quando diminuimos a amplitude, o som fica menos intenso.*

Grupo 2 FII – *Quando variamos a amplitude as ondas sonoras se tornam agudas.*

Grupo 3 FII – *Quanto maior for a amplitude da onda de pressão, maior será a oscilação das partículas do ar, e maior e a distância que o som pode percorrer. Quanto menor for a amplitude da onda de pressão, maior será a oscilação das particular do ar, e menor e a distância que o som pode percorrer.*

Grupo 4 FII – *Observamos no momento variamos a amplitude que o som se torna mais agudo.*

Grupo 5 FII – *Quanto maior a amplitude da onda, maior a intensidade da mesma.*

Atividade 1.1.2

Grupo 1 FII – *Quando diminuimos a frequência o som tende a ficar mais grave, quando aumentamos a frequência o som tende a ficar mais agudo.*

Grupo 2 FII – *Quando alteramos a frequência as ondas sonoras se tornam graves.*

Grupo 3 FII – *A medida que a frequência aumenta, o som torna-se mais agudo, normalmente chamamos graves ou baixos aos sons de frequência baixa, e agudo ou altos aos sons de tonalidade mais alta. Quando baixarmos a frequência, o som torna-se grave ou baixo.*

Grupo 4 FII – *Observamos que aumentou a intensidade de vibração da fonte que emite ondas sonora, assim o som se tornando mais agudo.*

Grupo 5 FII – *Quanto maior a frequência da onda, mais agudo será o som.*

Atividade 1.1.3

Grupo 1 FII – *No momento que o som sai do alto-falante, ele sai mais intenso, então até chegar ao ouvinte sua amplitude diminui, deixando o som menos intenso.*

Grupo 2 FII – *Quando afasta o ouvinte o som se torna agudo.*

Grupo 3 FII – *A diferença que o som emitido pelo alto-falante é agudo ou alto, e o som ouvido pelo ouvinte é mais grave ou baixo.*

Grupo 4 FII – *O som emitido pelo alto-falante é mais agudo e o som ouvido pelo ouvinte é mais grave.*

Grupo 5 FII – *O som do auto-falante é mais agudo e de maior intensidade do que o som do ouvinte, que é menos intenso e mais grave.*

Atividade 1.1.4

Grupo 1 FII – *Aproximando o ouvinte do alto-falante o som para o ouvinte é mais intenso, no momento que afastamos o ouvinte o som para o ouvinte fica menos intenso.*

Grupo 2 FII – *Quando aproxima-se do ouvinte o som se torna grave.*

Grupo 3 FII – *Se afastarmos o ouvinte do alto-falante ele irá ouvir um som mais grave ou baixo que falamos que a frequência está mais grave. Se aproximarmos o ouvinte do alto-falante ele irá ouvir um som mais agudo ou alto que falamos que a frequência está mais aguda.*

Grupo 4 FII – *Notamos a variação das ondas sonoras se propagam em mais agudo e mais grave na medida em que o ouvinte se aproxima da fica mais agudo(alto) assim que se afasta mais grave (baixo).*

Grupo 5 FII – *Quanto mais próximo do auto-falante o ouvinte ficar, mais intenso e agudo será o som e quanto mais distante, menos intenso e mais grave será o som ouvido.*

Atividade 1.2

Grupo 1 FII – *No meio dos dois alto-falantes, colocando o ouvinte na listra cinza temos uma região de interferência destrutiva e, nas demais regiões temos interferência construtiva.*

Grupo 2 FII – *Quando a interferência é destrutiva o som se torna agudo. Quando a interferência é construtiva o som se torna grave.*

Grupo 3 FII – *No meio dos dois alto-falantes é destrutiva e pouco para baixo construtiva.*

Grupo 4 FII – *Colocamos o ouvinte na posição mais escura notamos que é uma posição construtiva porque a som e na posição mais clara seria à posição destrutiva porque não a som. Para ser mais preciso quando o ouvinte esta com ouvido entre os auto-falantes ele tem uma interferência destrutiva ele não ouve, e quando esta com ouvido em direção para uma das caixas de som ele tem uma interferência construtiva ele ouve conforme está em direção aos autos falantes.*

Grupo 5 FII – *Interferência Cosntrutiva: onde a intensidade e a amplitude do som são maiores. Interferência Destrutiva: onde a intensidade e a amplitude do som são menores.*

Atividade 1.3

Grupo 1 FII – *No momento que retiramos o ar da caixa que envolve o alto falante o som não se propaga.*

Grupo 2 FII – *Quando não possui mais ar no alto falante o som se torna abafado.*

Grupo 3 FII – *A pressão do ar por sua vez, tem um comportamento diferente. Na extremidade fechada para tirar o ar teremos pressão máxima. A intencidade de uma onda sonora depende da pressão, dessa forma, onde temos pressão máxima, temos intensidade máxima de som e vice-versa. Além da frequência fundamental, a onda de pressão pode oscilar.*

Grupo 4 FII – *No momento que o ar é retirado da caixa faz vácuo no som e o ouvinte para de ouvir.*

Grupo 5 FII – *O som vai ficando mais grave até sua total ausência.*

Atividade 1.4.1

Grupo 1 FII – *Para $f=500\text{Hz}$, $v_p=322,58\text{ m/s}$; para $f=818\text{Hz}$, $v_p= 322,58\text{ m/s}$ e para $f=283\text{ Hz}$, $v_p=322,58\text{ m/s}$.*

Grupo 2 FII – *Não responderam.*

Grupo 3 FII – *Para $f=505\text{Hz}$, $v_p=292,39\text{ m/s}$; para $f=798\text{Hz}$, $v_p= 333,33\text{ m/s}$ e para $f=303\text{Hz}$, $v_p=303,03\text{ m/s}$.*

Grupo 4 FII – *$v_p=555\text{m/s}$ para $f=111\text{Hz}$, $v_p=4545\text{m/s}$ para $f=909\text{Hz}$ e $v_p=2220\text{m/s}$ para $f=444\text{Hz}$ (usaram comprimento de onda=5m e aplicaram $v_p=\lambda f$).*

Grupo 5 FII – *Para $f= 116\text{ Hz}$ $v_p=0,074\text{m/s}$; para $f=579\text{Hz}$ $v_p=0,0755\text{m/s}$ e para $f=968\text{ Hz}$ $v_p=0,0765\text{ m/s}$.*

Atividade 1.4.2

Grupo 1 FII – *A velocidade do som não muda com a variação da frequência.*

Grupo 2 FII – Não responderam.

Grupo 3 FII – *Sim, quanto maior a frequência maior a velocidade do som.*

Grupo 4 FII – *Sim.*

Grupo 5 FII – *Sim, a velocidade só permaneceria constante se, quando aumentasse a frequência, diminuísse a distância e vice-versa.*

Atividade 2.1.1

Grupo 1 FII – *1,22 Hz.*

Grupo 2 FII – *1,18 Hz.*

Grupo 3 FII – *1,05 Hz.*

Grupo 4 FII – *1,32 Hz.*

Grupo 5 FII – *1,19 Hz.*

Atividade 2.1.2

Grupo 1 FII- *0,3123 Hz.*

Grupo 2 FII – *0,33 Hz.*

Grupo 3 FII – *0,34 Hz.*

Grupo 4 FII – *0,31 Hz.*

Grupo 5 FII – *0,30 Hz.*

Atividade 2.2.1

Grupo 1 FII – *$v_p=3,47222\text{m/s}$.*

Grupo 2 FII – *$v_p=3,42\text{ m/s}$.*

Grupo 3 FII – *$v_p=3,06\text{ cm/s}$.*

Grupo 4 FII – *$v_p=3,4\text{ m/s}$.*

Grupo 5 FII – *$v_p=340\text{m/s}$ (velocidade do som no ar).*

Atividade 2.2.2

Grupo 1 FII – *$v_p=2,0408\text{ m/s}$.*

Grupo 2 FII – *$v_p=2,06\text{ m/s}$.*

Grupo 3 FII – *$v_p=1,89\text{ cm/s}$.*

Grupo 4 FII – *$v_p=2,04\text{ m/s}$.*

Grupo 5 FII – *$v_p=2,02\text{m/s}$.*

Atividade 2.3.1

Grupo 1 FII – *$f=1212,86\text{ Hz}$.*

Grupo 2 FII – *$f=1,26\text{ Hz}$.*

Grupo 3 FII – $f=1212,86 \text{ Hz}$ (resposta não coerente com resposta da questão 2.2.1).

Grupo 4 FII – $f=1250 \text{ Hz}$.

Grupo 5 FII – $f=503 \text{ Hz}$.

Atividade 2.3.2

Grupo 1 FII – $f=314,91 \text{ Hz}$.

Grupo 2 FII – $f=311,35 \text{ Hz}$.

Grupo 3 FII – $f=314,91 \text{ Hz}$ (resposta não coerente com resposta da questão 2.2.2).

Grupo 4 FII – $f=312,5 \text{ Hz}$.

Grupo 5 FII – $f=497 \text{ Hz}$.

B.3 Análise dos resultados das aplicações do pré e do pós-teste

B.3.1 Questões do pré-teste

Este questionário tinha como objetivo servir de diagnóstico acerca do conhecimento prévio dos alunos sobre os assuntos oscilações e ondas. (O pós-teste foi utilizado no término da aplicação.)

- 1) O que você entende por oscilações?
- 2) Onde encontramos oscilações na natureza?
- 3) Onde encontramos osciladores produzidos pelo homem? Para que servem?
- 4) No seu dia a dia você já experimentou/experimenta algum movimento oscilatório?
Caso afirmativo descreva a(s) situação(ões).
- 5) O que é uma onda?
- 6) Onde encontramos ondas na natureza?
- 7) Dê exemplos de ondas produzidas pelo homem e diga para que servem?
- 8) Dê exemplos de situações/equipamentos onde você se relaciona com ondas.
- 9) Sobre propagação de ondas, podemos afirmar que:
 - a) numa onda longitudinal, as partículas vibram em direção perpendicular à direção de propagação;
 - b) a frequência de uma onda é o número de vibrações na unidade de comprimento;
 - c) o período de uma onda é diretamente proporcional à sua frequência;
 - d) quando um conjunto de ondas de mesma natureza se propaga num mesmo meio, a onda de menor frequência tem maior comprimento de onda.

10) Relacione as colunas

- 1) Reflexão () Onda muda de meio
- 2) Refração () Onda contorna obstáculos
- 3) Ressonância () Passa a vibrar na mesma frequência da fonte
- 4) Difração () Onda encontra outro meio e volta ao meio de origem

11) Selecione a alternativa que apresenta as palavras que preenchem corretamente as três lacunas nas afirmações seguintes, respectivamente.

I - No ar, as ondas sonoras de maior _____ têm menor _____.

II – As ondas sonoras são _____.

- a) velocidade – comprimento de onda – longitudinais
- b) frequência - velocidade – transversais
- c) frequência – comprimento de onda – longitudinais
- d) comprimento de onda – velocidade – transversais
- e) velocidade – frequência – longitudinais

B.3.2 Resultados apresentados no pré e no pós-teste referentes às questões objetivas 9 e 11

Na tabela abaixo são apresentados os resultados no pré e no pós-teste para as questões 9 e 11, respectivamente.

Resultados no pré e no pós-teste, respectivamente, para a questão 9										
Alternativa	A		B		C		D		Nenhuma marcada	
Número de alunos	2	1	2	1	6	0	4	15	2	0

Resultados no pré e no pós-teste, respectivamente, para a questão 11					
Número de acertos	2 (ítems I e II)		1 (somente um item)		0
Número de alunos	3	12	6	4	6 1

Já na próxima tabela são apresentados os resultados no pré e no pós-teste para questão 10 (quatro afirmativas para completar com verdadeiro ou falso)

Resultados no pré e no pós-teste, respectivamente, para a questão 10										
Número de acertos	4		3		2		1		0	
Número de alunos	4	15	0	0	2	0	4	2	5	0

B.4 Transcrição dos comentários dos alunos sobre o processo pedagógico desencadeado

No pós-teste foi acrescentada uma questão (transcrita abaixo) onde os alunos poderiam comentar sobre o tema abordado e sobre a sua opinião sobre a metodologia usada:

No espaço abaixo, faça comentários sobre os temas Oscilações e Ondas (se acha sentido em estudá-los e se indicaria estes temas para o ensino médio) e a forma como foram abordados (que atividades você gostou de realizar, que aulas lhe chamaram a atenção, atuação do professor, etc.).

Abaixo, são apresentados os comentários dos alunos, onde foi mantida a sua própria grafia.

Sim, indicaria para o ensino médio e a forma como foi abordado foi bem interessante pelos experimentos que foi realizado. A experiência do diapásão mais as molas foram bem especificados, sobre a atuação do professor ficou bem especificados. (Aluno(a) 1)

Gostei muito das aulas, o professor soube abordar muito bem os temas, com exemplos práticos e teóricos como por exemplo os experimentos feitos com as molas, que nos mostrava bem como se forma uma onda. Seno importante indicar estes temas para o ensino médio sim, indicaria para o ensino médio. (Aluno(a) 2)

É importante estudar sobre oscilações e ondas no ensino médio, pois são temas presentes no dia-a-dia de nossos alunos. Gostei das atividades das aulas produzidas em cordas. Na hora da prova teórica, lembrei muito dessa aula e consegui acertar todas as questões. (Aluno(a) 3)

É uma disciplina interessante, mas que é pouco usada no ensino médio, mas os vidios é uma maneira criativa de nos transmitir o conhecimento do assunto. (Aluno(a) 4)

Acho importante para o aluno saber como ocorre muitos fenômenos, como por exemplo, ouvir a voz de alguém, mesmo estando a quilômetros de distância. O que mais gostei, foi a formação da onda através de uma mola, quanto maior a frequência, menor se transformava a onda. (Aluno(a) 5)

Uma aula com instrumentos musicais que os alunos gostariam de trazer. Com isso iremos apresentar o programa que mostra a frequência, amplitude que cada aparelho tem.. (Aluno(a) 6)

Sim, acho sentido ao estudá-lo, pois é mais visível para os alunos estudarem matérias do nosso cotidiano, gostei quando é feito as experiências sonoras, achei muito interessante o uso do computador e o programa que calcula a intensidade do som. (Aluno(a) 7)

Oscilações e ondas fazem parte do nosso dia-a-dia por isso é muito interessante estudá-los no ensino médio para que tenhamos noções do que acontece em nossa volta e uma atividade que chamou muito a minha atenção foi a que o professor trouxe diferentes molas e através de experimentos feitos em aula explicava sobre frequência, comprimento de onda e velocidade. (Aluno(a) 8)

Oscilações e ondas são temas muito importantes pois estão presentes em nossa vida, a forma foi boa, pois a prática demonstra um melhor absorveção do conteúdo. (Aluno(a) 9)

Gosto muito das aulas quando temos experiências, com vídeos, molas, experimentos legais. Sobre o professor acredito que é muito inteligente e procura passar para nós tudo o que sabe. (Aluno(a) 10)

Achei muito interessante pois quando fiz o segundo grau não tive esses conteúdos e concerteza indicaria o tema para o ensino médio, pelo fato de ser um assunto muito interessante e conserteza chamaria a atenção da maioria dos alunos. E na minha opinião foram bem abordados, como por exemplo; com vídeos, programas de computador e assim por diante. As atividades que mais gostei foram a que usamos os aplicativos para fazer os trabalhos, e fica mais interessante, porque tu começa a reproduzir o fato ali presente, e te prende a atenção e estimulando para concluir a atividade. (Aluno(a) 11)

Sim, eu acho que os alunos do ensino médio deveriam estudar, a forma foi interessante e as experiências das molas e outras experiências. A atuação do professor é fundamental ao nosso entendimento do conteúdo, mas a metodologia foi interessante, mas a comunicação para melhor entendimento tem que ser mais fixada, na parte que vimos o ex. da mola falamos tanto de várias maneiras que pude entender melhor. (Aluno(a) 12)

Gostei sim e acredito que a física do ensino médio deve ser mais atual, com conteúdos práticos e envolventes. Mas não tão massacrantes, batendo na mesma tecla. (Aluno(a) 13)

Acho importante trabalhar oscilações e ondas e acho necessário já começar esse estudo já no ensino médio. (Aluno(a) 14)

Gostei dos temas abordados, achei interessante ondas, com a atividade com a mola porque foi possível ver os nodos de um onda e teria sim que ser estudado no ensino médio. (Aluno(a)15)

Sim acho um assunto muito importante para o ensino médio. Achei varias experiências interessantes mais a melhor foi a do diapásão com tubo de água. (Aluno(a) 16)

Bom gostei dos temas por serem assuntos do nosso dia a dia corriqueiros e que usamos toda hora, acho que indicaria para o ensino médio, pois achei bem interessante e creio que iriam gostar. Bom a forma que foi apresentado, com o professor fazendo a turma participar e interagir de forma participativa e todos compreendendo junto, com data show ficou fácil e claro para o entendimento. (Aluno(a) 17)

APÊNDICE C - Análise dos resultados dos testes, trabalhos e questionários realizados na disciplina Física IV do Curso de Licenciatura em Matemática

Neste apêndice é descrita a análise da aplicação do projeto na disciplina Física IV, no segundo bimestre do semestre letivo 2009/2. Esta é uma disciplina cursada no 6º semestre do curso de Licenciatura em Matemática da FACOS.

C.1 Análise dos resultados das aplicações do pré e do pós-teste sobre cores

C.1.1 Questões do pré-teste e do pós-teste

As questões de 1 até 10 fizeram parte dos dois testes. A questão 11 só fez parte do pós-teste, que foi realizado em forma de avaliação da disciplina de Física IV e encontra-se transcrito abaixo:

	<p>FACULDADE CENEQUISTA DE OSÓRIO Curso de Licenciatura em Matemática</p> <p>Disciplina Física IV Professor José Fernando Cánovas de Moura 1ª Avaliação 2º bimestre (sem consulta)</p>	
---	--	--

Nome: _____

As questões abaixo são de múltipla escolha e resposta múltipla. Cada questão pode ter mais de uma alternativa correta.

- 1) Quais são as cores primárias nos processos de adição, isto é, quando luzes com cores diversas são superpostas?
 - a) Azul, amarelo, verde
 - b) Azul, verde e vermelho
 - c) Amarelo, verde e vermelho
 - d) Ciano, magenta e amarelo
 - e) Branco, preto e cinza

- 2) Quais são as cores primárias nos processos por subtração, isto é, quando tintas ou pigmentos) são misturados?
 - a) Azul, amarelo, verde
 - b) Azul, verde e vermelho
 - c) Amarelo, verde e vermelho
 - d) Ciano, magenta e amarelo

- e) Azul, vermelho e amarelo
- 3) Na coloração por adição de luzes qual é o resultado da soma de um vermelho intenso com um verde igualmente intenso?
- a) Vermelho esverdeado
 - b) Verde avermelhado
 - c) Azul
 - d) Amarelo
 - e) Anil
- 4) Na coloração por adição de luzes qual é o resultado da soma de um vermelho intenso com um verde e um azul igualmente intensos?
- a) Preto
 - b) Branco
 - c) Verde
 - d) Roxo
 - e) Marrom
- 5) Quanto à dispersão da luz pode-se afirmar que
- a) A luz em contato com alguma outra fonte se dispersa em outras cores;
 - b) dispersão é o mesmo que espalhamento da luz;
 - c) ocorre porque o índice de refração da luz muda com a frequência;
 - d) é o fenômeno pelo qual a luz, ao interagir com pequenas partículas, sofre mudança aleatória em sua direção;
 - e) É a explicação de o céu se apresentar azul.
- 6) Quanto ao espalhamento da luz pode-se afirmar que
- a) as ondas luminosas se espalham ao cruzar uma fenda ou um objeto/obstáculo;
 - b) ocorre por exemplo quando a luz solar atinge a atmosfera terrestre, determinando que as radiações próximas ao violeta sejam mais absorvidas e reemitidas do que as radiações próximas ao vermelho;
 - c) Está relacionada com o arco-íris e com a decomposição da luz branca em um prisma;
 - d) a intensidade da luz espalhada depende do tamanho da partícula comparada com o comprimento de onda da luz;

- e) é o fenômeno pelo qual a luz, ao interagir com pequenas partículas, sofre mudança aleatória em sua direção.
- 7) Entre os fenômenos luminosos abaixo, qual(is) deles somente podem ser explicados pelo modelo ondulatório de Huygens da luz ao invés do modelo corpuscular de Newton?
- a) Reflexão
 - b) Refração
 - c) Dispersão
 - d) Difração
 - e) Efeito fotoelétrico¹⁵
- 8) Por que o céu é azul em dias de baixa nebulosidade?
- a) O céu é azul em dias de baixa nebulosidade porque o comprimento de onda é mais curto, fazendo ficar mais próximo da atmosfera.
 - b) Porque o azul tem a maior frequência (menor comprimento de onda), sofrendo maior espalhamento.
 - c) Por causa do espalhamento da luz na atmosfera terrestre.
 - d) Por causa da interação da luz com o oxigênio e o nitrogênio da atmosfera.
- 9) Por que o céu é cinza em dias de alta nebulosidade?
- a) O céu é cinza em dias de alta nebulosidade, porque está mais distante da atmosfera.
 - b) Por motivo de as partículas de luz serem freadas e perderem suas características
 - c) Bloqueio parcial de todas as cores de luz.
 - d) Porque luz de diferentes comprimentos de onda chegam aos olhos do observador.
 - e) Porque a presença das moléculas de água torna o espalhamento da luz branca pouco dependente da frequência.
- 10) Como se explica os tons vermelhos alaranjados do pôr do Sol?
- a) Porque o comprimento de onda do vermelho é o maior no espectro visível e por causa do ângulo de incidência da luz solar.

¹⁵Tardiamente nos conscientizamos de que inclusive a difração foi "explicada" por Newton usando o conceito de "inflexão dos raios luminosos". Portanto, apesar de a questão ter sido aplicada na forma em que se encontra, ela não faz jus à verdade histórica sobre o tema.

- b) A luz azul se dispersa na atmosfera.
- c) Por causa de a luz que atravessa a atmosfera perder mais os comprimentos de onda menores por espalhamento
- d) O tom é alaranjado em função da combinação de ângulo de entrada da luz “no horizonte” e o comprimento de onda da luz vermelha (maior comprimento de onda)
- e) A atmosfera funciona como um prisma.

12) Na última aula foram realizadas visualizações de efeitos de pós-imagem e de visualização de cores que, conforme o contexto, percebemos com tonalidades diferentes. Estas atividades demonstram que:

- a) Nem todas percepções de cores podem ser explicadas pela teoria tricromática de Young e Helmholtz.
- b) Em se tratando de cores, aspectos fisiológicos e psicológicos também influem na percepção delas.
- c) Todas percepções de cores podem ser explicadas pela teoria tricromática de Young e Helmholtz.
- d) Nossas percepções de cores podem ser totalmente explicadas pela Física, mas não pela teoria tricromática de Young e Helmholtz.

Comente aspectos positivos e/ou negativos sobre as aulas e atividades realizadas sobre cores:

C.1.2 Resultados apresentados no pré e no pós-teste referentes às questões objetivas

Na Tabela C.1 são mostrados os resultados comparativos apresentados no pré e no pós-teste.

Tabela C.1: Resultados apresentados pelos alunos no pré e no pós-teste:

Questão	A		B		C		D		E		Média percentual dos acertos da turma em cada questão	
	Pré	Pós	Pré	Pós								
1	0	0	14*	32*	1	4	9	1	6	0	14/32=43,8%	32/37=86,5%
2	6	1	1	2	2	0	5*	29*	20	6	5/32=15,6%	29/37=78,4%
3	9	0	11	1	4	1	2*	34*	4	2	2/32=6,3%	34/37=91,9%
4	2	3	1*	27*	0	1	23	3	6	2	1/32=3,1%	27/37=73,0%
5	6	2	7	2	3*	31*	14	2	7	0	3/32=9,4%	31/37=83,8%
6	13	1	7*	2*	4	1	11*	16*	6*	32*	24/96=25,0%	50/111=45,0%
7	0	4	5	6	21	16	8*	12*	1	10	8/32=25%	12/37=32,4%
8	9	2	4*	27*	15*	14*	4*	14*	-	-	23/96=24,0%	55/111=49,5%
9	1	1	5	5	12*	6*	6*	10*	10*	22*	28/96=29,2%	38/111=34,2%
10	11*	10*	0	7	4*	7*	18*	12*	4	2	33/96=34,4%	29/111=26,1%
12		11*		25*		23		2	-	-		36/74=48,6%
Média percentual de acertos da turma em cada teste (questões 1 até 10)											21,6%	60,1%

As questões 11 e 12 foram acrescentadas no pós-teste. Como na questão 11 não havia nenhuma resposta correta a questão foi eliminada.

Os * indicam as opções corretas.

Pré-teste: 32 alunos

Pós-teste: 37 alunos

Das 10 questões presentes nos dois testes, 6 apresentavam apenas uma alternativa correta e as demais, três alternativas corretas

Foi solicitado que no final do questionário eles comentassem os aspectos positivos e/ou negativos sobre as aulas e atividades realizadas sobre o conteúdo de cores.

Do total de respondentes, oito não apresentaram comentários (Alunos(as) 1, 3, 8, 10, 11, 16, 30 e 34). A seguir se apresentam os comentários dos alunos onde foi mantida a grafia original.

Aluno 1: Não comentou.

Aluno 2: *Achei bem interessantes as aulas sobre cores, pois não sabia da influência delas no tom azul do céu, na água do mar, no eclipse. Queria ter mais tempo para estudar e entender melhor.*

Aluno 3: Não comentou.

Aluno 4: *Professor, eu achei algumas atividades bastante interessantes, com experiências, e aplicativos. Porém quando tentasse aliar a prática com a teoria, o elo não fica bom. Alguns conceitos importantes para o conteúdo ficam vagos e a parte teórica se desliga da prática.*

Aluno 5: *Positivos: São boas para ver como ocorrem as colorações e entender muitos fenômenos do nosso dia-a-dia. Negativos: Somente as aulas no laboratório não são muito proveitosas pra todos alunos, pois nem todos conseguem ver os experimentos, é uma sala pequena para tantos alunos.*

Aluno 6: *As aulas foram bem produtivas, pois a matéria é apresentada de forma interessante, e atrativa, o professor domina perfeitamente o conteúdo. Parabéns!*

Aluno 7: *Eu estou achando este conteúdo mais atrativo, ele interessa mais porque nós conseguimos imaginar as explicações. E por causa das práticas também. O conteúdo de lentes e espelhos foi muito legal.*

Aluno 8: Não comentou.

Aluno 9: *Achei as aulas interessantes, porém é a parte teórica que não é fácil de ser lembrada, e como nossas aulas tem sido mais teóricas, tenho dificuldade para lembrar. Mas vale o esforço do professor ao nos trazer tanto material didático que nos auxiliam na compreensão.*

Aluno 10: Não comentou.

Aluno 11: Não comentou.

Aluno 12: *Positivo: As aulas foram boas, principalmente a parte em que podemos visualizar as cores, suas combinações e etc... Porém, particularmente, acho a Física um pouco complicada, pois não tive no Ens. Médio e as vezes acho que é muito conteúdo de uma só vez.*

Aluno 13: *Positivos, pois coisas como porque o céu é azul que não fazia idéia e também as misturas ou ausências de cores que formam outras cores menos aquela que se vê.*

Aluno 14: *As aulas foram interessantes e esse assunto é importante porque entendemos acontecimentos e fenômenos do nosso dia-a-dia.*

Aluno 15: *Basicamente só aspectos positivos senão o que mais chamou atenção é a existência real das cores dos objetos. Eles tem identidade com todas as cores, menos a cor que ele possui, este fato é muito interessante.*

Aluno 16: Não comentou.

Aluno 17: *Foi muito legal as atividades e as demonstrações que o professor fez. E acho interessante os aplicativos (programas) para de certa forma brincar descobrindo curiosidades e além de aprender física junto.*

Aluno 18: *As aulas práticas e expositivas ajudam a entender o material quando se lê em casa sozinho.*

Aluno 19: *Acredito que somente positivo, adorei ver esse conteúdo sobre cores.*

Aluno 20: *O conteúdo é interessante mas foi trabalhado muito rápido, não dando tanta ênfase as suas aplicações.*

Aluno 21: *Os aplicativos foram bem interessantes e também a aula com cartões coloridos e iluminação monocromática.*

Aluno 22: *Eu gostei das aulas sobre cores, ficou bem clara e eu consegui visualizar melhor, depois da aula você deu no laboratório.*

Aluno 23: *Não vejo nada de negativo, gostei de aprender, achei super interessante, pois nunca ouvi falar sobre RGB e CMYK, então minha noção de cores era outra.*

Aluno 24: *Achei todas muito positivas esclarecedoras, somente acho que deveria haver uma maior participação da turma, coisa que deve acontecer com os trabalhos que estão por vir.*

Aluno 25: *A parte dos aplicativos foi bem produtiva, porque a agente consegue ver o que está nas teorias.*

Aluno 26: *Um ótimo trabalho do professor, ótimos ensinamentos e curiosidades interessantes sobre esse assunto. Foi um conteúdo muito agradável de ser trabalhado.*

Aluno 27: *Bom, positivos é as de talvez inovar com os slides no data show que foi usado, porém, tornaram-se cansativas só na fala o tempo todo. Talvez com o pessoal interagindo junto no laboratório seria melhor.*

Aluno 28: *Eu acho que as aulas foram muito boas, pois não foram somente conceitos soltos mas com atividades práticas. Achei muito interessante que o senhor fez um pré-teste e depois um pós teste, para ver o que realmente aprendemos.*

Aluno 29: Não comentou.

Aluno 30: *As aulas com muita teoria ela se torna um pouco cansativa, mas as atividades com vídeos, as demonstrações foram muito importante conceguei visualizar bastante e me ajudou muito para realização desta prova.*

Aluno 31: *O aspecto positivo foram as experiências demonstradas no laboratório, e as lâminas dadas em aula negativos a princípio ã há.*

Aluno 32: *Achei muito interessante a maneira como o professor trabalhou o conteúdo, sempre trazendo coisas novas para prender nossa atenção.*

Aluno 33: *Prefiro não comentar.*

Aluno 34: *Este estudo mostra que o comportamento das cores depende sempre das luzes.*

Aluno 35: *As atividades foram bem diferentes e interessantes, o que me chamou bastante a atenção foram os slides de pós imagem, favor me mandar por e-mail. Obrigada.*

Aluno 36: *As aulas foram boas, tendo atividades práticas fica melhor de entender apesar da minha pessoa estar faltando muito. Abraço.*

Aluno 37: *Apesar de ter algumas aulas no laboratório (que eu acho desconfortável), mas as atividades sobre cores foram bem legais, as cores e luzes ajudou nós a entendermos.*

C.2 Análise dos resultados do Trabalho com aplicativos sobre A interação dos raios X com a matéria

C.2.1 Atividades propostas e transcrições da respostas

C.2.1.1 Atividades propostas e análise qualitativa das respostas: Atividade 1

Com os aplicativos iniciais, Atividades C.2.1.1.1 até C.2.1.1.5, pretendeu-se introduzir, de uma forma muito simplificada, como podem ser as interações dos raios X com a matéria. Embora os aplicativos evidenciem a natureza corpuscular da radiação, alguns *subsunçores* evocados pela animação podem levar a obstáculos epistemológicos.

Nossa visão não é adequada para visualização do *mundo* atômico. A faixa do visível enquadra-se entre 400 e 700 nm. Já os raios X são ondas da ordem de 0,1 nm (1 Angstrom) e, portanto, bem menores. Os átomos têm 1 ou 2 Angstroms de raio. Estudar o efeito da incidência de radiação eletromagnética deste comprimento de onda sobre átomos pode nos trazer revelações sobre a sua natureza.

No link abaixo são apresentadas três possibilidades de interação de raios X com a matéria:

http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/multimedia/simulacoes/fisica_moderna_e_conte_mporanea.(este applet de David Harrison, quando aplicado estava neste link. Disponível no

link <http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Nuclear/XRayInteract/>. Acesso em: 27/10/14).

Sigam o roteiro de exploração da simulação abaixo respondendo as perguntas com a ajuda das legendas em inglês:

C.2.1.1.1 Como é representado o átomo nestas animações?

Grupo 1- *Um núcleo centralizado e três elétrons orbitando em torno desse núcleo que sofrem alterações diferentes com aproximações de fótons em diferentes distâncias.*

Grupo 2- *O ÁTOMO É REPRESENTADO POR UM NÚCLEO E TRÊS ELÉTRONS EM ÓRBITA DELE.*

Grupo 3 - *O núcleo e os elétrons orbitam em sua volta.*

Grupo 4 – *Encontram-se o núcleo e os elétrons orbitando em sua volta.*

Grupo 5 - *O átomo é representado por um núcleo e três elétrons.*

Grupo 6 - *O Núcleo e os Elétrons em sua volta.*

Grupo 7 - *É representado por núcleo e elétrons na eletrosfera.*

Grupo 8 – *O átomo está representado desta forma: Um núcleo e três elétrons em seu redor, ou seja, em sua eletrosfera.*

Grupo 9 - *Núcleo e elétrons na eletrosfera. Um Núcleo e três elétrons em diferentes níveis.*

C.2.1.1.2 Quem incide nas proximidades do átomo nas três simulações?

(Os dois grupos que obtiveram escore de 0,7 (Grupos 7 e 9) colocaram como objetos quânticos incidentes nos átomos das simulações além do fóton, também elétrons e pósitrons. Isto deve ter ocorrido devido ao processo de produção de pares).

Grupo 1- *O fóton.*

Grupo 2 – *FOTON.*

Grupo 3 – *photon.*

Grupo 4 – *Photon.*

Grupo 5 - *Quem incide é o Photon.*

Grupo 6 - *O Fóton.*

Grupo 7 - *Quem incide nas proximidades do átomo são: Photon, elétron e positron.*

Grupo 8 – *Uma partícula de Fóton.*

Grupo 9 - *Photon, eletron e positron.*

Escolha *efeito fotoelétrico* e clique na seta verde (prosseguir).

C.2.1.1.3 Quais são as modificações observadas decorrentes da interação do objeto incidente com o átomo?

(Os Grupos 3, 4 e 6 relacionaram a interação do fóton com o elétron com fundir ou unir. Foi considerado que isto o aplicativo não permite interpretar. Fundir ou unir parecem ser termos usados pelos alunos quando não há *subsunçores* apropriados à conservação de energia. Durante a realização do trabalho no laboratório de informática foi chamada a atenção para o fato de que as interações que estavam sendo observadas no aplicativo pertencem a uma realidade do microcosmo bem diferente da nossa. De qualquer forma, para fins de atribuição de escores para as respostas do trabalho foram aceitas respostas onde os termos bater, tocar ou chocar relacionam-se à interação do fóton incidente com um elétron do átomo (isto por ser um trabalho introdutório). Em aulas posteriores, retornou-se a esta discussão enfatizando que bater, tocar ou chocar, embora revelem uma propriedade corpuscular da radiação incidente, não são apropriados a uma descrição do microcosmo de acordo com a Física Quântica.

Grupo 1- *Quando o fóton interage com um dos elétrons, é absorvido por ele, e sua energia também é absorvida pelo mesmo, que com essa energia se desprende da órbita do átomo.*

Grupo 2 - *QUANDO O FOTON CHEGA NO ÁTOMO ELE TOCA NUM ELÉTRON E É ABSORVIDO, NESSE INSTANTE O ELÉTRON SE DESPRENDE DO ÁTOMO E SEGUE SOZINHO.*

Grupo 3 - *O photon chega e se funde com o elétron mudando de direção, ficando dois elétrons em torno do núcleo orbitando.*

Grupo 4 – *O photon chega e se funde com o elétron mudando de direção, ficando dois elétrons em torno do núcleo orbitando.*

Grupo 5 - *Ao interagir com o átomo o photon desaparece entregando toda sua energia para o elétron que ejeta.*

Grupo 6 - *O Fóton se aproxima do núcleo, onde se une com um elétron que sai da volta do núcleo em forma de elétron.*

Grupo 7 - *São observadas as seguintes modificações: o photon interage com os eletrons e o mesmo é ejetado e é chamado de fotoelétron. Um eletron absorve o photon de raio-x.*

Grupo 8 – *O fóton se aproxima do átomo e um elétron o absorve, esse elétron sai da eletrosfera e segue sozinho.*

Grupo 9 - *O photon interagem com os eletrons e o mesmo é ejetado e é chamado de fotoelétron. Um eletron absorve o photon de raio-x.*

Escolha *efeito Compton* e clique na seta verde (prosseguir).

C.2.1.1.4 Quais são as modificações observadas decorrentes da interação do objeto incidente com o átomo?

Grupo 1- *O fóton ao interagir com um elétron provoca um efeito de espalhamento, pois o fóton tem sua trajetória desviada e o elétron se desprende da órbita atômica.*

Grupo 2 – *QUANDO O FOTON TOCA O ÁTOMO É IONISADO E O FOTON SEPARA UM ELÉTRON E MUDA DE TRAJETÓRIA.*

Grupo 3 - *O photon que chega ao contrário da última observação, ele não se funde e desprende um elétron da orbita e muda sua direção.*

Grupo 4 – *O photon que chega ao contrário da última observação, ele não se funde e desprende um elétron da orbita e muda sua direção.*

Grupo 5 - *O photon ao interagir com o átomo faz com que photon e elétron ejetem em diferentes direções.*

Grupo 6 - *O Fóton se aproxima do núcleo, onde choca-se com um Elétron, saindo do núcleo em direções diferentes.*

Grupo 7 - *Observando a interação do objeto incidente com o átomo podemos concluir: o photon de raio-x e elétrons sofrem espalhamento. Um photon interage com os elétrons livres e o mesmo é ejetado carregando consigo um eletron produzindo um espalhamento.*

Grupo 8 – *O fóton se aproxima do átomo e toca em um elétron, esse elétron muda a trajetória do fóton, e o próprio elétron se desprende do átomo e segue sozinho em outra trajetória.*

Grupo 9 - *O photon de raio-x e elétrons sofrem espalhamento. Um photon interage com os elétrons livres e o mesmo é ejetado carregando consigo um eletron produzindo um espalhamento.*

C.2.1.1.5 Escolha *produção de pares* e clique na seta verde (Prosseguir).

Observe que desta vez o objeto incidente e o átomo interagindo produzem um fenômeno bem mais complexo. Descreva as diferentes etapas observadas.

Grupo 1- *Ao aproximar-se do átomo o fóton se transforma em um par, elétron e pósitron, sendo que o pósitron interage com um elétron e se aniquila, formando um par de fótons que se afastam do átomo.*

Grupo 2 – *VEM UM FOTON QUE SENTE A PRESENÇA DO ATOMO E SE SEPARA EM UM ELÉTRON E UM POSITRON. ESSE POSITRON TOCA EM UM ELÉTRON, IONISA O ATOMO E CRIA DOIS POSITRONS DESPRENDIDOS QUE SEGUEM EM CURSO.*

Grupo 3 - *O photon em contato com o núcleo se desprende, formando um par (elétron, positron), com o positron interage com elétron funde em dois photons seguindo a trajetória do elétron que se despreendeu.*

Grupo 4 – *O photon em contato com o núcleo se desprende, formando um par (elétron, positron), com o positron interage com elétron funde em dois photons seguindo a trajetória do elétron que se desprende.*

Grupo 5 - *Primeiramente o photon se divide em elétron e próton, após o próton interage com o átomo e ao se chocar com o elétron se torna um par de photons.*

Grupo 6 - *O Fóton vem em direção ao núcleo, antes de chegar parti-se em um Elétron e um Póstron, o Elétron continua a sua trajetória afastando-se do núcleo, o Póstron choca-se com um Elétron, formando dois Fótons que seguem em direção diferente longe do núcleo.*

Grupo 7 - *Neste fenômeno bem mais complexo o photon de raio-x ao se aproximar do átomo cria um par eletron-positron e posteriormente o positron se aniquila com eletron atômico e conseqüentemente, cria dois photon.*

Grupo 8 – *O fóton se aproxima do átomo e quando sente sua presença ele se transforma em um elétron e um póstron. O elétron formado segue sozinho enquanto o póstron toca em um dos elétrons do átomo que se transforma em dois fótons que seguem em trajetórias diferentes.*

Grupo 9 - *O photon de raio-x ao se aproximar do átomo cria um par eletron-positron e posteriormente o positron se aniquila com eletron atômico e conseqüentemente, cria dois photon.*

C.2.1.2 Atividade sobre efeito fotoelétrico:

Acesse o link:

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Photoelectric_Effect.

Inicialmente explore o aplicativo tentando gerar dados e visualizar os gráficos correspondentes.

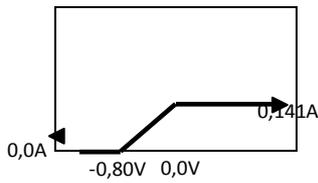
Com o comprimento de onda de 400nm e o material escolhido sendo o sódio verifiquem:

Corrente no amperímetro versus Tensão na bateria

Selecione o gráfico corrente versus tensão da bateria. Assim, coloquem a intensidade em 100% e variem a tensão na bateria obtendo o gráfico correspondente.

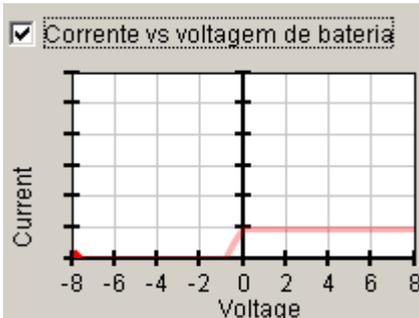
- 1 Faça no espaço abaixo um rascunho do gráfico obtido e tentem interpretá-lo.

Grupo 1-



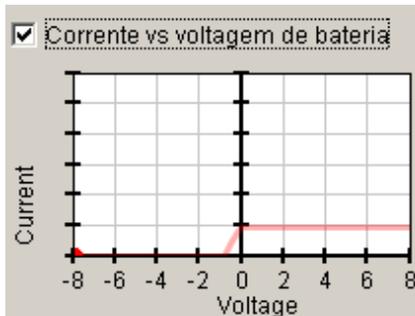
Nas tensões negativas mais baixas da bateria a corrente é zero, a partir de $-0,80V$ (potencial de corte para esse caso) começa a existir corrente, essa corrente aumenta linearmente até atingir $0,14A$ quando a tensão é $0,00V$, em tensões positivas a corrente se mantém nos mesmos $0,14$ Ampéres.

Grupo 2 –

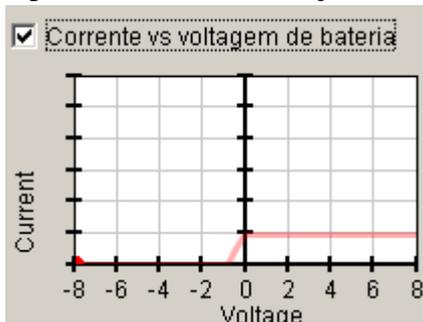


NA VARIAÇÃO DE $-8V$ ATÉ $8V$ VERIFICA-SE 3 FASES DISTINTAS. DE $-8V$ ATÉ $-0,8V$ A CORRENTE É CONSTANTE EM ZERO, DE $-0,8V$ ATÉ $0V$ A CORRENTE CRESCE DE ZERO ATÉ $0,141 A$ E DE $0V$ ATÉ $8V$ É CONSTANTE EM $0,141 A$.

Grupo 3 –

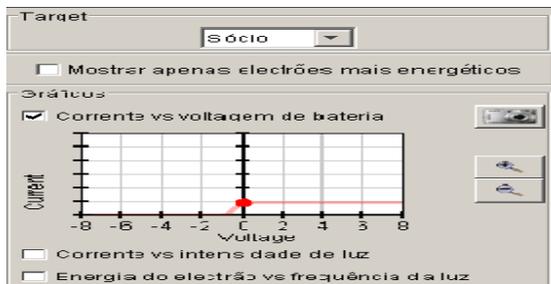


NA VARIAÇÃO DE $-8V$ ATÉ $8V$ VERIFICA-SE 3 FASES DISTINTAS. DE $-8V$ ATÉ $-0,8V$ A CORRENTE É CONSTANTE EM ZERO, DE $-0,8V$ ATÉ $0V$ A CORRENTE CRESCE DE ZERO ATÉ $0,141 A$ E DE $0V$ ATÉ $8V$ É CONSTANTE EM $0,141 A$.

Grupo 4 – Tendo a variação $-8V$ à $8V$, notamos as três fases distintas. De $-8V$ até $-0,8V$ a

corrente fica constante em zero, de $-0,8V$ à $0V$ a corrente vai crescendo de zero a $0,141 A$ e de $0V$ até $8V$ é constante em $0,141 A$.

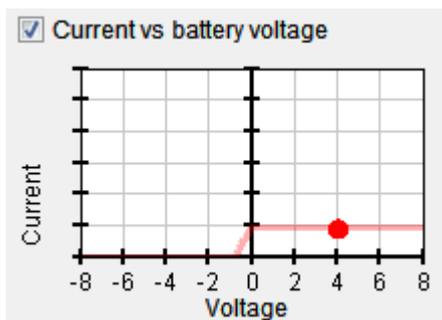
Grupo 5 –



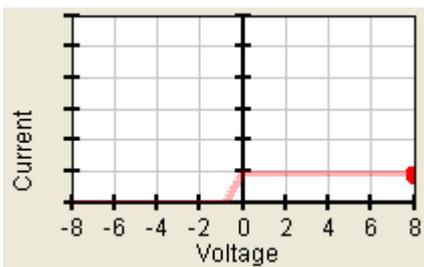
Quando a voltagem é negativa a corrente tende a zero, e quando positiva é constante.

Grupo 6 –

Quando a voltagem é negativa a corrente varia linearmente até o zero. Quando a voltagem é positiva a corrente fica sempre constante.

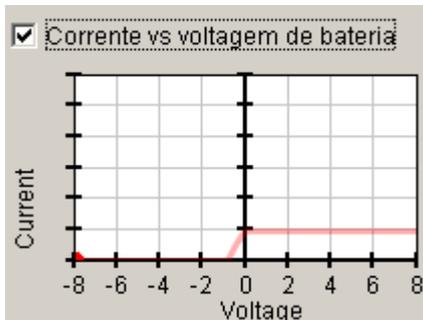


Grupo 7 –



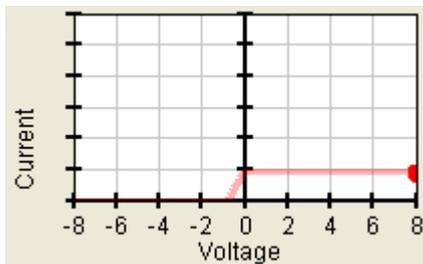
Analisando o gráfico verificamos que quando a tensão for positiva todos os elétrons emitidos atingem o anodo e a corrente terá seu valor máximo. Verificamos também que quando a tensão for negativa os elétrons são repelidos pelo anodo e somente os elétrons que tiverem as energias cinéticas iniciais forem maior que a carga dos elétrons atingirão o anodo.

Grupo 8 –



Na corrente de -8V até -0,8V a corrente estava sempre em zero, em -0,8V até 0V a corrente passa a ser 1,41 onde se mantém constante até os 8V positivos.

Grupo 9 –



Quando a tensão for positiva todos os elétrons emitidos atingem o anodo e a corrente terá seu valor máximo. Quando a tensão for negativa os elétrons são repelidos pelo anodo e somente os elétrons que tiverem as energias cinéticas iniciais forem maior que a carga dos elétrons atingirão o anodo.

2 Afinal, de que forma a variação da tensão na bateria altera a corrente medida no amperímetro?

Grupo 1- Ela altera a corrente de forma linear, porém somente no trecho entre -0,80 e 0,00 Volts

Grupo 2 – A CORRENTE SÓ É ALTERADA ENTRE -0,8V E 0V

Grupo 3 - Essa corrente é alterada e -0,8v e 0v

Grupo 4 – A corrente só é alterada entre -0,8V e 0V.

Grupo 5 - Quanto mais positiva a tensão da bateria maior a velocidade dos elétrons e estes estão em menor quantidade, quanto mais a tensão é negativa maior potencial de retardo.

Grupo 6 - A corrente fica constante em -8,00V até -1,00V em 0,00 sem alterações, do -1,00V ao 0,00V ela sofre variações em aproximação do 0,141, do 0,00V até o 8,00V fica constante em 0,141 sem variações.

Grupo 7 - Quando as tensões forem menores que -0,80V a corrente é nula e quando forem maiores a corrente é maior que zero. E no caso das tensões serem maiores que zero a corrente será constante.

Grupo 8 – Depois de medida no amperímetro a corrente se altera entre -0,8V e 0V.

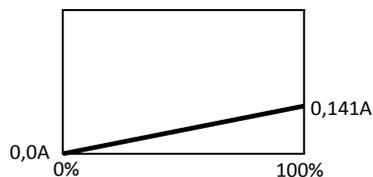
Grupo 9 - Para voltagens menores que -0,80V a corrente nula e para valores maiores a corrente é maior que zero. Para voltagens maiores que zero a corrente será constante.

Corrente x Intensidade da Luz

Selecione o gráfico corrente versus intensidade da luz (ainda com 400nm).

3 Variem a intensidade da luz e, no espaço abaixo, façam um rascunho do gráfico correspondente.

Grupo 1-



Grupo 2 –

QUANDO AUMENTA A INTENSIDADE AUMENTA A CORRENTE, PORTANTO SÃO PROPORCIONAIS.

TAMBÉM



Grupo 3 –

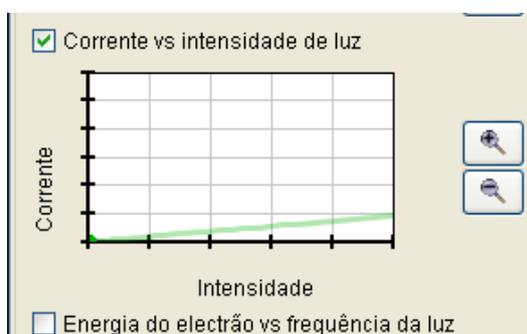


QUANDO AUMENTA A INTENSIDADE AUMENTA A CORRENTE, PORTANTO SÃO PROPORCIONAIS.

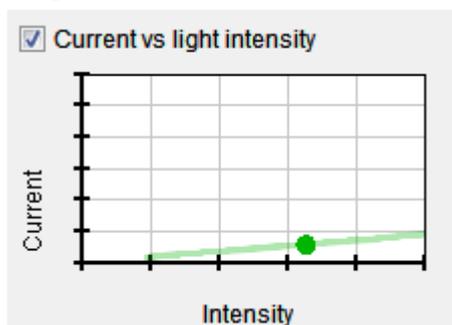
Grupo 4 – *Aumentamos a intensidade, também aumenta a corrente, ou seja, são proporcionais.*



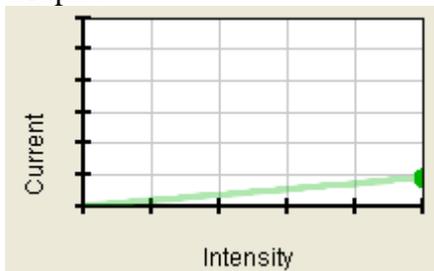
Grupo 5 –



Grupo 6 –



Grupo 7 –



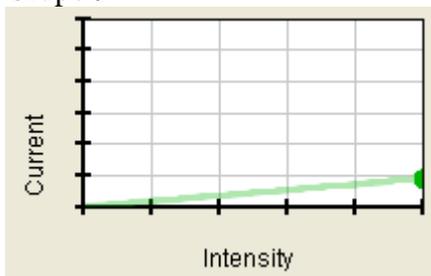
Ao ocorrer uma variação da intensidade da luz, a corrente cresce linearmente

Grupo 8 –



Se a intensidade aumenta a corrente também sofre o mesmo processo, aumenta também, isto quer dizer que essas duas grandezas são proporcionais.

Grupo 9 –



Com a variação da intensidade da luz a corrente cresce linearmente.

- 4 Também descrevam o que acontece quando, ocorrendo o efeito fotoelétrico, somente se varia a intensidade da luz incidente.

Grupo 1- *Com a intensidade da luz em 0% não existe corrente, a partir de 1% de intensidade a corrente vai aumentando até atingir 0,141 A em 100% formando assim uma um gráfico linear de uma reta levemente inclinada. (Simulação feita com a tensão nula.)*

Grupo 2 – *TAMBÉM SE DIMINUI O NÚMERO DE ELÉTRONS EM TRANSIÇÃO.*

Grupo 3 - *Os elétrons diminui*

Grupo 4 – *Diminui o número de elétrons em transição.*

Grupo 5 - *Quanto maior a intensidade da luz, maior a corrente. Assim quando se diminui a intensidade da luz diminui também a corrente.*

Grupo 6 - *Quanto maior a intensidade maior o número de elétrons transmitidos, sendo que ao diminuir a intensidade não ocorre o efeito fotoelétrico.*

Grupo 7 - Se diminuirmos a intensidade da luz o número de elétrons diminui. O número de elétrons é proporcional a intensidade da luz. Quanto maior a intensidade da luz, maior será o número de fotoelétrons.

Grupo 8 – Se diminuirmos a intensidade da luz o número de elétrons em transição também diminuirá.

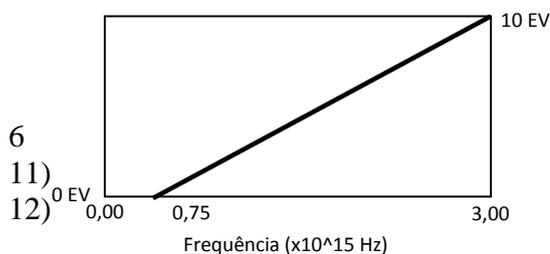
Grupo 9 - O número de elétrons diminui se diminuirmos a intensidade da luz. O número de elétrons é proporcional a intensidade da luz. Quanto maior a intensidade da luz, maior será o número de fotoelétrons.

Ainda com o sódio, mas variando a frequência:

Energia do elétron emitido versus Frequência da Luz

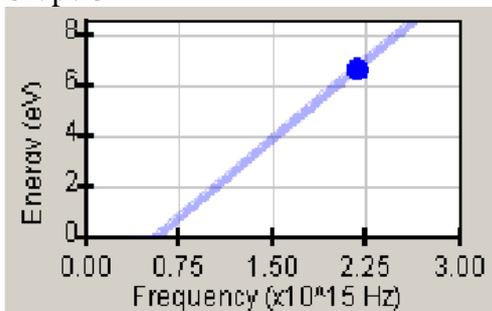
- 5 Variando o comprimento de onda da luz incidente (com sódio, tensão nula e intensidade de 100%) rascunhem abaixo o gráfico correspondente.

Grupo 1-

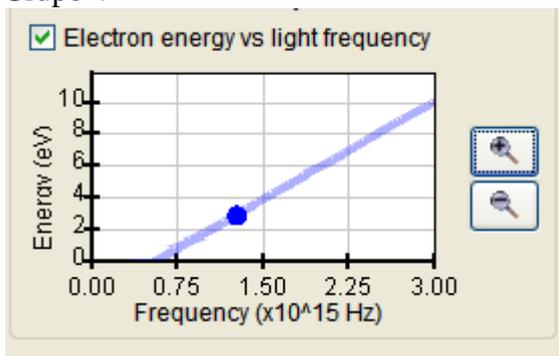


Grupo 2 – Não responderam

Grupo 3 –

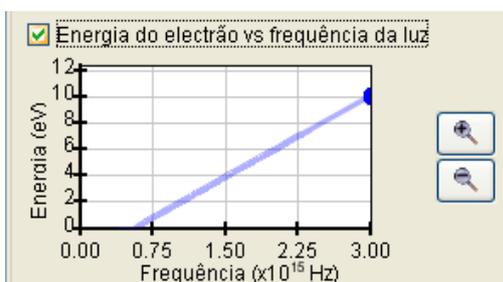


Grupo 4 –

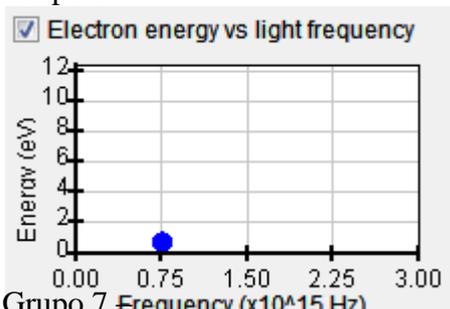


Quanto maior é o comprimento de onda a frequência tende a diminuir.

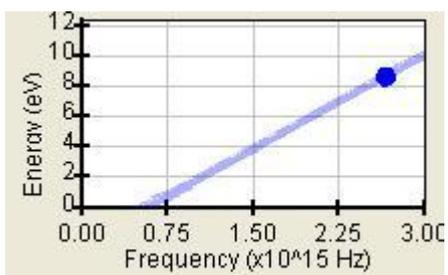
Grupo 5 –



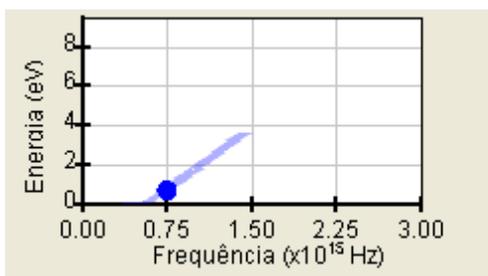
Grupo 6 –



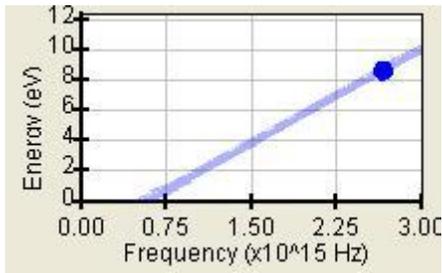
Grupo 7



Grupo 8 –



Grupo 9 –



- 11) Conclua o que ocorre com a energia do elétron emitido quando se varia a frequência da luz incidente.

Grupo 1- *Em uma frequência de aproximadamente $0,50 \times 10^{15}$ Hz a energia ainda é 0, acima dessa frequência a energia vai aumentando a medida que se aumenta a frequência, formando um gráfico de função linear, a exemplo dos anteriores.*

Grupo 2 – *AUMENTA CONFORME AUMENTA A FREQUENCIA DA LUZ.*

Grupo 3 - *Ao aumentar a frequência da luz aumenta a energia do elétron*

Grupo 4 – *A energia do elétron aumenta de acordo com a frequência da luz.*

Grupo 5 - *Quanto menor o comprimento de onda, maior a energia do elétron. Assim quanto menor a frequência menor a energia dos elétrons.*

Grupo 6 - *A partir de 1% de intensidade o elétron passa a ter energia constante até 100% de intensidade.*

Grupo 7 - *Podemos concluir que quanto maior a frequência da luz, maior será a energia dos fotoelétrons emitidos.*

Grupo 8 – *Com a mudança de frequência da luz os elétrons recebem mais energia.*

Grupo 9 - *Quanto maior a frequência da luz, maior será a energia dos fotoelétrons emitidos.*

Agora, a respeito do cobre e do zinco

- 7 Encontrem os comprimentos de onda de corte e as respectivas frequências de corte para o cobre e o zinco.

Grupo 1-

Cobre: Comprimento de onda de corte de 264 nm e Frequência de $1,13636 \times 10^{15}$ Hz

Zinco: Comprimento de onda de corte de 289 nm e Frequência de $1,03806 \times 10^{15}$ Hz

Grupo 2 – *PARA O COBRE EM 265nm PARA A TRANSIÇÃO DE ELÉTRONS E SUA FREQUÊNCIA É DE $f=1,132 \times 10^{19}$ Hz. E PARA O ZINCO 290nm PARA A EMISSÃO DE ELÉTRONS E SUA FREQUÊNCIA É DE $f=1,0345 \times 10^{19}$ Hz.*

Grupo 3- PARA O COBRE EM 265nm PÁRA A TRANSIÇÃO DE ELÉTRONS E SUA FREQUÊNCIA É DE $f=1,132 \times 10^{19}$ Hz. E PARA O ZINCO 290nm PÁRA A EMISSÃO DE ELÉTRONS E SUA FREQUÊNCIA É DE $f=1,0345 \times 10^{19}$ Hz.

Grupo 4 – O Cobre em 265nm para a transição de elétrons e sua frequência é de $f=1,132 \times 10^{19}$ Hz. e para o zinco 290nm para a emissão de elétrons e sua frequência é de $f=1,0345 \times 10^{19}$ Hz.

Grupo 5 - Cobre: Comprimento de onda de corte = 264 nm.

$$\text{Frequência de corte} = 1,136 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Zinco: Comprimento de onda de corte = 289 nm

$$\text{Frequência de corte} = 1,038 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

Grupo 6 –

Cobre: Comprimento de onda de corte = 265nm.

$$\text{Frequência de corte} = 1,132 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$$

Zinco: Comprimento de onda de corte = 290 nm

$$\text{Frequência de corte} = 1,034 \cdot 10^{19} \text{ Hz}$$

Grupo 7 –

Cobre- comprimento de onda 264nm ou $2,64 \cdot 10^{-7} \text{m}$ frequência = $8,8 \cdot 10^{-16}$

Zinco- comprimento de onda 289nm ou $2,89 \cdot 10^{-7} \text{m}$ frequência = $9,63 \cdot 10^{-16}$

Grupo 8 – O Cobre para a transição dos eletros em 256nm com uma frequência de $f=1,132 \times 10^{19}$ hz, já o metal zinco para sua transição de elétrons em 290nm com uma frequência de $f=1,0345 \times 10^{19}$.

Grupo 9 –

Cobre- comprimento de onda 264nm ou $2,64 \cdot 10^{-7} \text{m}$ frequência = $8,8 \cdot 10^{-16}$

Zinco- comprimento de onda 289nm ou $2,89 \cdot 10^{-7} \text{m}$ frequência = $9,63 \cdot 10^{-16}$

- 8 Calculem as funções trabalho destes dois metais a partir do comprimento de onda (ou frequência de corte) verificados no aplicativo.

Grupo 1-

Cobre: $\Phi = h f_0 \gg 7,534 \times 10^{-19}$

Zinco: $\Phi = h f_0 \gg 6,882 \times 10^{-19}$

Grupo 2 – PARA COBRE É $\Phi = 7,505 \times 10^{-15}$ E PARA O ZINCO É DE $\Phi = 6,858 \times 10^{-15}$.

Grupo 3 - PARA COBRE É $\Phi = 7,505 \times 10^{-15}$ E PARA O ZINCO É DE $\Phi = 6,858 \times 10^{-15}$.

Grupo 4 – Cobre é $\Phi = 7,505 \times 10^{-15}$ e para o zinco é de $\Phi = 6,858 \times 10^{-15}$.

Grupo 5 –

Cobre: $7,534 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Zinco: $6,882 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Grupo 6 –

Cobre: $\Phi = h \times F_0$

$$6,63 \times 10^{-34} \times 1,132 \times 10^{19} = 7,505 \times 10^{-15}$$

Zinco: $\Phi = h \times F_0$

$$6,63 \times 10^{-34} \times 1,034 \times 10^{19} = 6,85 \times 10^{-15}$$

Grupo 7 –

COBRE = $5,83 \cdot 10^{-49}$

ZINCO = $6,38 \cdot 10^{-49}$

Grupo 8 - A do metal Cobre é $7,505 \times 10^{-15}$, já o metal Zinco é de $6,858 \times 10^{-15}$.

Grupo 9 –

COBRE = $5,83 \cdot 10^{-49}$

ZINCO = $6,38 \cdot 10^{-49}$

9 Então, em qual destes dois metais o efeito fotoelétrico ocorre com mais facilidade?

Grupo 1- *No zinco, pois o valor da função trabalho é menor do que no cobre.*

Grupo 2 – *ZINCO.*

Grupo 3 - *É O ZINCO*

Grupo 4 – *No zinco.*

Grupo 5 - *Ocorre no Zinco, pois sua função trabalho é menor.*

Grupo 6 - *No Zinco.*

Grupo 7 - *Analisando os dados podemos concluir que o efeito fotoelétrico ocorre com mais facilidade no Zinco.*

Grupo 8 – *Ocorre no Zinco.*

Grupo 9 - *O efeito fotoelétrico ocorre com mais facilidade no Zinco.*

E entre todos metais do aplicativo:

10 Em qual(is) ocorre o efeito fotoelétrico na faixa do visível?

Grupo 1- *No cálcio e no sódio.*

Grupo 2 – *SÓDIO E CÁLCIO.*

Grupo 3 - *O SÓDIO É O CÁLCIO*

Grupo 4 – *No sódio e cálcio*

Grupo 5 - *Sódio e o Cálcio.*

Grupo 6 - *No Sódio e no Cálcio.*

Grupo 7 - *O efeito fotoelétrico na faixa do visível ocorre no Sódio e Cálcio.*

Grupo 8 – *Somente no Sódio e no Cálcio*

Grupo 9 - *Sódio e Cálcio.*

C.2.1.3 Atividade sobre o efeito Compton

Acessem:

http://www.student.nada.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton/Compton.htm

http://www.student.nada.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton2/Compton.htm

(versão interativa)

11 O que vocês observam adicionalmente ao que já haviam observado quando da simulação *A interação dos raios X com a matéria*, de David M. Harrison utilizada nas Atividades C.2.1.1.1 até C.2.1.1.5. Relacionem o tamanho dos comprimentos de onda (incidente com o decorrente da interação) com a energia desses fótons. Dica: No efeito Compton se verifica a conservação da energia e da quantidade de movimento entre o fóton incidente (antes da interação) e o elétron e fóton remanescente (depois da interação).

Grupo 1- *O fóton aproxima-se do elétron com uma trajetória, um comprimento de onda e uma energia (1.000,0 KeV), ao interagir com o elétron, causa um deslocamento desse elétron, e uma alteração em sua trajetória e seu comprimento de onda original. Além disso parte da sua energia é transferida para o elétron, sendo que o somatório das duas energias continua sendo 1.000,0 KeV, além disso, a quantidade de energia que é passada para o elétron é proporcional ao desvio de trajetória e a mudança do comprimento de onda do fóton, ou seja, quanto mais energia ele passa para o elétron, mais ele tem sua características originais alteradas.*

Grupo 2 – *O FÓTON DIMINUI A ENERGIA E A FREQUÊNCIA E O ELÉTRON SEM ENERGIA PASSA A TER ENERGIA ADQUIRIDA DO FÓTON. HÁ CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NO TODO, POIS A ENERGIA INICIAL DO FÓTON É IGUAL A ENERGIA, APÓS O CONTATO, DA SOMA DAS ENERGIAS DO FÓTON E DO ELÉTRON.*

Grupo 3- *O FÓTON DIMINUI A ENERGIA E A FREQUÊNCIA E O ELÉTRON SEM ENERGIA PASSA A TER ENERGIA ADQUIRIDA DO FÓTON. HÁ CONSERVAÇÃO DE*

ENERGIA NO TODO, POIS A ENERGIA INICIAL DO FÓTON É IGUAL A ENERGIA, APÓS O CONTATO, DA SOMA DAS ENERGIAS DO FÓTON E DO ELÉTRON.

Grupo 4 – *Observamos que o Fóton diminui a energia e a frequência, e o elétron sem energia passa a ter energia adquirida do fóton. Existe a conservação de energia no processo, pois a energia inicial do fóton é igual a energia, após o contato, da soma das energias do fóton e do elétron.*

Grupo 5 - *Após a interação do fóton com o elétron, o comprimento de onda do fóton aumenta, ou seja, sua frequência diminui. Pode-se notar que a velocidade do fóton permanece a mesma, como $p = m \cdot v$, conclui-se que a energia do mesmo permanece igual.*

Grupo 6 - *Antes da interação era no fóton que se concentrava toda energia e frequência, depois o fóton perde energia e frequência ao tocar no elétron, e esta energia perdida pelo fóton é transferida para o elétron. Verificando assim a conservação da energia.*

Grupo 7 - *Nós observamos que a energia inicial do fóton incidente é conservada, o que acontece é que ela é distribuída entre o átomo e o foton que sai. O comprimento de onda do foton será maior após a interação com o átomo.*

Grupo 8 – *O Fóton diminui a energia e a frequência, então o elétron recebe energia vinda do fóton. Ocorre a conservação de energia no processo, pois a energia inicial do fóton é igual após o contato, da soma das energias do fóton e do elétron.*

Grupo 9 - *A energia inicial do fóton incidente será conservada, o que acontece é que ela será distribuída entre o foton que sai e o átomo. O comprimento de onda do foton será maior após a interação com o átomo.*

C.2.2 Análise dos resultados do trabalho sobre A interação dos raios X com a matéria.

Na Tabela C.2 são apresentadas as notas obtidas pelos grupos nas questões do trabalho sobre *A interação dos raios X com a matéria*.

Tabela C.2: Notas obtidas pelos grupos nas questões do trabalho sobre *A interação dos raios X com a matéria*. (É 1,0 o valor máximo de cada questão.)

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9
Questão 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Questão 2	1	1	1	1	1	1	0,7	1	0,7

Questão 3	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0
Questão 4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7	0,8	1,0	0,8
Questão 5	1,0	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Questão 6	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	0,8	0,5	0,8
Questão 7	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	1,0	0,0	1,0
Questão 8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Questão 9	1,0	0,9	0,5	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Questão 10	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
Questão 11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
Questão 12	1,0	1,0	0,8	0,8	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7
Questão 13	0,9	0,7	0,7	0,7	1,0	0,8	0,0	0,7	0,5
Questão 14	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Questão 15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Questão 16	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0	1,0	1,0	0,7
Total acertos de cada grupo	15,9	13,3	13,5	13,5	15,1	13,1	14	13,9	14,2
Total percentual de acertos de cada grupo	99,4	83,1	84,4	84,4	94,4	81,9	87,5	86,9	88,8

C.3 Questões e resultados do Trabalho final do segundo bimestre de Física IV 2009

- 1) Imagine um experimento com rede de difração e lâmpada de hidrogênio realizado de forma similar ao realizado em aula com a lâmpada de mercúrio. Os comprimentos de onda emitidos pelo hidrogênio na faixa do visível são descritos pela fórmula de Balmer¹⁶:

¹⁶ Segundo Silveira e Peduzzi (Cad. Bras. Ens. Fís., v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006 e acessível em <http://www.fsc.ufsc.br/cbef/port/23-1/artpdf/a2.pdf>) a teoria de Bohr teve como consequência não intencionada a explicação dos espectros de emissão do hidrogênio e possibilitou a previsão de novas séries espectrais.

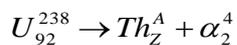
$$\frac{1}{\lambda} = R \cdot \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad \text{com } n=3,4,5,\dots \text{ e } R \text{ é a constante de Rydberg que é dada por}$$

$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

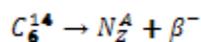
- a) Calcule os comprimentos de onda resultantes dos saltos quânticos dos elétrons de $n=3$ para $n=2$ e de $n=4$ para $n=2$.
- b) Se utilizarmos uma rede de difração cuja distância entre linhas (constante da rede) é $d = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$ (igual a utilizada naquela prática) e se posicionarmos a rede a 4m da fonte de luz de hidrogênio, a que distância da fonte de hidrogênio visualizaremos a raia espectral relativa ao salto quântico de $n=4$ para $n=2$?
- 2) O comprimento de onda de corte do Magnésio é igual a 336nm. Responda se ocorrerá efeito fotoelétrico no magnésio e, se ocorrer, qual será a energia cinética máxima dos elétrons emitidos quando luz de comprimento de onda de 300nm nele incidir.

3) Decaimento Alfa e Beta

- a) O Urânio 238 decai no Tório 234 por decaimento alfa. O Urânio tem número atômico igual a 92. Então qual é o **número atômico Z** e **número de massa A do Tório** decorrente do decaimento alfa deste Urânio?



- b) O Carbono 14 usado em datação de amostras radioativas decai, por emissão beta, no Nitrogênio 14. Qual é o **número atômico Z** e **número de massa A do Nitrogênio 14**?



- 4) Em Medicina Nuclear Terapêutica o Iodo 131 é utilizado para exames diagnósticos da tireóide e, em doses maiores, para o tratamento do hipertireoidismo. Sabe-se que a meia-vida do Iodo 131 é de aproximadamente 8 dias. Se uma amostra de Iodo 131 for preparada, quanto tempo levará até que:

- a) possua apenas 12,5% do número de núcleos radioativos iniciais
- b) possua apenas 1% do número de núcleos radioativos iniciais.

- 5) Coloque V nas afirmativas verdadeiras e F nas falsas

a) () O efeito Compton evidencia o caráter ondulatório da luz (radiação eletromagnética).

b) () A luz tem um caráter dual podendo em uma situação manifestar seu caráter ondulatório e, em outra, seu caráter corpuscular.

c) () No experimento da fenda dupla tanto o caráter ondulatório quanto o caráter corpuscular da luz ficou evidenciado para Young.

d) () O efeito fotoelétrico evidencia o caráter corpuscular da luz

Tabela C.3: Análise dos resultados do trabalho final Física de IV 2009.

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9
Questão 1ª	0,8	0,9	0	0,9	0,9	0,5	0,7	0,9	0,9
Questão 1b	1	1	0	1	1	1	0	0	1
Questão 2	0,8	0,2	0,4	0,6	0,9	0	0,5	0,7	1
Questão 3ª	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1
Questão 3b	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Questão 4ª	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1
Questão 4b	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Questão 5ª	1	0	1	1	1	1	1	0	1
Questão 5b	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Questão 5c	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Questão 5d	1	1	1	1	1	1	0	1	1
Nota de cada grupo/11	10,6	8,6	8,4	9,5	10,8	9	8,2	8,1	10,9
Aproveitamento percentual de cada grupo	96,4	78,2	76,4	86,4	98,2	81,8	74,5	73,6	99,1

Abaixo um espaço para avaliação das últimas aulas, do uso de aplicativos em trabalhos em grupo, da viabilidade de se trabalhar estes assuntos no ensino médio e de qualquer outro comentário sobre a disciplina, o professor e as metodologias utilizadas.

Aos alunos era facultado expressarem suas impressões na questão avaliativa acima. A seguir, são apresentados os comentários dos grupos onde se manteve a grafia utilizada pelos alunos:

Sobre o aplicativo utilizado nos trabalhos são de grande avalia, pois é mais fácil de avaliar, observar, compreender e a aula se torna mais interessante e prazerosa. Sobre disciplina, ela é de grande interesse do grupo por ser uma disciplina interessante. Sobre o professor utiliza de concepções intuitiva dos alunos e demonstra um grande conhecimento do conteúdo. Sobre a metodologia foi de grande aprendizado e interesse para o grupo. (Grupo 1)

Com os aplicativos facilita e é um modo diferente de abordar junto ao ensino médio, já que nós somente vimos MRUV e MRU. (Grupo 2)

O uso de aplicativos foi bom, pois podemos observar melhor o conteúdo, podendo assim trabalhar com o ensino médio pois é um meio de envolver mais os próprios alunos, não usando só a parte teórico sem demonstrações, a disciplina de física IV é de grande importância pois se a base q precisamos para se assim for lecionar física no ensino médio, só achamos o conteúdo um pouco complicado mas o professor soube conduzir assim interagindo bastante com a turma. (Grupo 3)

Os trabalhos com aplicativos serviram para termos uma noção da “prática” do conteúdo trabalhado e não apenas fazermos conta e não sabermos o que realmente estamos calculando. Trabalhos em grupos sempre ajudam muito mais na aprendizagem que os individuais. Achamos que a viabilidade de trabalhar este conteúdo no ensino médio seria um pouco complexa devido ao assunto não ser tão claro. A disciplina de Física IV é um pouco diferente das demais físicas que tivemos no curso. O professor esse semestre, ao nosso ver se destacou devido ao fato de diferenciar o modo de aplicar a matéria. O fato de trabalhar com aplicativos, trabalhos em grupo e não aplicar prova ajudou-nos muito mais a aprender o conteúdo do que se tivesse somente explicado o conteúdo e aplicado uma prova. Enfim, nos despedimos do conteúdo de Física no curso de matemática com o prazer de ter pelo menos aprendido os diversos conteúdos e mistérios que a Física pode nos oferecer. (Grupo 4)

Achamos que os trabalhos feitos em grupo rendem mais pois aprendemos mais trocando informações sobre os aplicativos. Para trabalhar no ensino médio consideramos que a prova não seria bem pelos alunos, e sim, trabalhos com aplicativos. Em geral, as aulas do professor são construtivas e o professor auxilia e instrui bastante, fazendo com que tenhamos um bom rendimento. (Grupo 5)

O grupo acha de um modo geral que as aulas foram boas. Os aplicativos facilitam a visualização, embora o grupo sentia dificuldades; porém achamos um pouco inviável, mas

não impossível a possibilidade de trabalhar no Ensino Médio. Agradecemos o esforço do professor por nos trazer novas perspectivas no ensino de física. (Grupo 6)

(não escreveram nada) (Grupo 7)

Um bom trabalho do professor. O uso dos aplicativos nos auxiliou muito na compreensão dos conteúdos. Foi uma disciplina muito produtiva, aulas com um bom rendimento, trabalhos bem elaborados e interessantes. (Grupo 8)

Não pode ser exigido trabalhos em que o computador é a ferramenta principal para o mesmo, visto que a faculdade possui poucos computadores e os mesmos estão em péssimas condições. Se a faculdade não dispõe de material, também não pode exigir que os alunos tenham. Estes assuntos são inviáveis para serem trabalhados no Ensino Médio, visto a complexidade e exigência de outros conteúdos. A teoria e a prática não ficam claras, pois não estão interligados. Nas aulas há muita conversa, pois o professor não possui domínio sobre a turma, o que dificulta o aprendizado. Achemos que o professor deve ser mais pragmático. O conteúdo é complexo e as explicações não são claras (os termos utilizados dificultam o entendimento). O envio do material deverá ter mais uma alternativa pois quem não tem impressora fica sem material, deveria ser deixado também no xerox, e ser enviado com antecedência de uma semana e não ser enviado no dia da aula. Resumindo tem muito a melhorar! (Grupo 9)

APÊNDICE D – TEXTO DE APOIO

APÊNDICE D – TEXTO DE APOIO

APRESENTAÇÃO

Este texto de apoio apresenta uma sequência de atividades que tem por objetivo viabilizar a introdução de tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, a partir do tema estruturador Radiação Eletromagnética: luz, cores e aplicações médicas. Pretende-se facilitar a inserção de tópicos de Física Moderna e temas afins nas práticas habituais de ensino da Física na escola de nível médio a partir de atividades exploratórias para serem trabalhadas ao longo dos tópicos habituais de Mecânica, Física Térmica, Óptica, Física Ondulatória e Eletromagnetismo, especificamente com o propósito do entendimento de interações da radiação com a matéria. Espera-se propiciar uma visão abrangente da Física com vistas a uma maior compreensão da natureza e da tecnologia que se utiliza, na tentativa de justificar porque e para que se estuda Física.

A estrutura habitual da disciplina de Física dos cursos de Ensino Médio obedece a sequência: Mecânica, Física Térmica, Óptica/Física Ondulatória e Eletromagnetismo. Raras são as instituições que efetivamente trabalham assuntos de Física Moderna. Quando isto acontece, os assuntos são tratados somente no final do terceiro ano. Como a carga horária para a disciplina de Física costuma ser reduzida e, em algumas instituições ainda tende a diminuir, apenas apresentar tópicos de Física Moderna no final do curso torna o contato com a Física dos séculos XX e XXI muito superficial, impossibilitando o estabelecimento de condições apropriadas à aprendizagem significativa e a uma alfabetização científica apropriada aos nossos dias.

Encontra-se consenso na comunidade docente quanto à inadequação da prática pedagógica que resume a Física à aplicação de fórmulas. Muito se fala em privilegiar conceitos e aplicações, Física e realidade. Recentemente tem sido incentivada a inserção de novas tecnologias no ensino de Física e a introdução de tópicos de Astronomia, Gravitação e Física Moderna e Contemporânea. Infelizmente encontram-se ainda em todo o país, práticas pedagógicas de simples aplicação de fórmulas e restrita aos assuntos do quarteto básico de conteúdos, de forma fragmentada, sem potencial de uma aprendizagem significativa e abrangente. Muitos são os alunos que terminam o Ensino Médio e não relacionam a Física da escola com as tecnologias de que cotidianamente se utilizam e que são baseadas nas interações da radiação com a matéria. Passam despercebidas as relações dos conteúdos de Física Clássica que são trabalhados no Ensino Médio com teorias que representam estas interações tanto macro quanto microscopicamente.

Grande parte dos professores que ministram a disciplina de Física no Ensino Médio não possuem habilitação específica para ministrar a disciplina de Física neste nível de ensino. Em suma, existe a necessidade de uma formação continuada dos professores que lecionam Física fazendo com que sejam adquiridas aptidões e competências preparando-os para fomentar o papel da Física como disciplina de importância para o entendimento/compreensão do mundo em que vivemos e das tecnologias que utilizamos.

Neste intuito, inicialmente foi oferecido um curso de extensão para professores da rede de ensino da região do litoral norte do RS, egressos e formandos de curso de Licenciatura em Matemática de uma faculdade da região, no qual um conjunto de atividades didáticas foram criadas e aplicadas a professores que atuam em disciplina de Física no Ensino Médio. Depois, passou-se a aplicar o material instrucional em duas disciplinas do curso de Licenciatura em Matemática da mesma faculdade: Física II e IV. Para tal, as atividades foram modificadas e outras criadas para adequá-las ao novo contexto. Na disciplina de Física II foram desenvolvidas atividades sobre Oscilações, Física Ondulatória e, de modo particular, a Acústica. Já na Física IV os assuntos tratados foram Óptica Física, Cores, Modelos Atômicos e Radiações Ionizantes. O capítulo do texto de apoio que trata da Introdução a radiações ionizantes foi utilizado também na disciplina de Biofísica do curso de Ciências Biológicas da mesma faculdade.

Os conteúdos deste texto de apoio ao professor foram divididos em quatro capítulos: Unidade 1 - Oscilações, Radiação Eletromagnética e Física Ondulatória; Unidade 2 – Modelos atômicos, Radiação de Corpo Negro, Efeito Compton e Efeito Fotoelétrico; Unidade 3 – Luz e Cores; Unidade 4 – Raios X, Gama e Beta e Aplicações Médicas.

Professor, esperamos que você venha a fazer uso deste material instrucional ou escolher parte dele que melhor se adapte a sua realidade didática. Caso você queira nos consultar sobre algum tópico ou fazer alguma sugestão, não hesite em nos escrever.

Porto Alegre, outubro de 2014.

José Fernando Cánovas de Moura¹⁷,

Rejane M. Ribeiro Teixeira e Fernando Lang da Silveira

¹⁷(zecanovas@gmail.com); (rejane@if.ufrgs.br); (lang@if.ufrgs.br).

SUMÁRIO

D.1	Unidade 1 – Oscilações, radiação eletromagnética e Física ondulatória	128
D.1.1	Unidade 1 – Parte 1 - Oscilações na Mecânica Clássica.....	128
D.1.1.1	Tarefa “Onde encontramos osciladores”	128
D.1.1.2	Adaptação (tradução reduzida) de trecho do capítulo Movimento Harmônico da coleção de videoaulas Universo Mecânico de David Goodstein	128
D.1.1.3	Definindo o MHS a partir do Movimento Circular Uniforme (MCU)	129
D.1.1.4	Desenvolvimento matemático utilizado na videoaula 16 - <i>Movimento Harmônico</i> da coleção Universo Mecânico de David Goodstein.....	130
D.1.1.5	Pêndulo simples	133
D.1.1.6	Sugestões de tarefas a serem abordadas com alunos do Ensino Médio.....	134
D.1.2	Unidade 1 – Parte 2 - Física ondulatória, som e radiação eletromagnética	139
D.1.2.1	Oscilações, ondulatória e eletromagnetismo numa perspectiva integrada	139
D.1.2.2	Sugestões de tarefas para alunos do Ensino Médio	141
D.1.2.3	Referências	145
D.2.1	Unidade 2 – Parte 1- Natureza da luz	147
D.2.1.1	Síntese histórica do conhecimento sobre a natureza da luz	147
D.2.1.2	Final do Século XIX e primeiro quarto do Século XX – O início da Física Moderna	150
D.2.1.3	Outras atividades	157
D.2.1.4	Referências	161
D.2.2	Unidade 2 – Parte 2 - Modelos atômicos	163
D.2.2.1	Teoria atômica de Dalton	163
D.2.2.2	Evolução do conhecimento sobre o elétron e sua interferência na construção dos modelos atômicos.....	163
D.2.2.3	Modelo de J.J. Thomson para o átomo: o modelo do pudim de passas–1904	164
D.2.2.4	Experimento de Millikan – determinação da carga do elétron - 1909.....	165
D.2.2.5	Modelo de Rutherford para o átomo - 1911	165
D.2.2.6	Modelo atômico de Bohr - 1913.....	167
D.2.2.7	Modelo de Bohr-Sommerfeld - 1916	171
D.2.2.8	Comprimento de onda de de Broglie, comportamento ondulatório de elétrons e átomos e um átomo inspirado na Física Ondulatória – 1924	171
D.2.2.9	Atividades.....	171
D.2.2.10	Referências	174
D.3.	Unidade 3 – Luz e cores.....	176
D.3.1	História	176
D.3.2	Atividades.....	179
D.3.2.1	Coloração por adição	179

D.3.2.2	Coloração por subtração	180
D.3.2.3	Sombras Coloridas	180
D.3.2.4	Observando pós-imagens	182
D.3.2.5	Atividade experimental: extrapolando o experimento da fenda dupla de Young para luz policromática incidindo em rede de difração	183
D.3.3	Abordagens clássicas aproximadas às noções quânticas dos processos de absorção e reemissão da radiação eletromagnética pela matéria	183
D.3.3.1	Espalhamento Compton e Efeito Fotoelétrico	184
D.3.3.2	Espalhamento Thomson de raios X	184
D.3.3.3	Espalhamento Rayleigh	184
D.3.3.4	Comparando o espalhamento Rayleigh com o espalhamento Thomson	185
D.3.3.5	Espalhamento <i>versus</i> dispersão da luz	185
D.3.3.6	Céu azul	186
D.3.3.7	Tons vermelhos alaranjados do por do Sol.....	187
D.3.3.8	Nuvens brancas, grãos de sal e fio de nylon transparentes ou brancos	187
D.3.4	Referências	187
D.4	Unidade 4 – Radiações ionizantes e aplicações médicas	189
D.4.1	O que é radiação ionizante?	189
D.4.2	Raios X e radioatividade a partir dos estudos e pesquisas de Roentgen, Curie e Becquerel 189	
D.4.3	Fósforos, luminescência, fosforescência e fluorescência.....	193
D.4.4	Telas intensificadoras utilizadas em radiologia médica.....	193
D.4.5	Radioatividade, decaimento radioativo, meia-vida e datação por análise radioativa	194
D.4.5.1	Meia-vida	195
D.4.5.2	Contador Geiger	196
D.4.5.3	Datação por análise radioativa.....	196
D.4.6	Produção de raios X	197
D.4.6.1	Raios X de freamento.....	197
D.4.6.2	Raios X característico	197
D.4.7	Irradiação e Contaminação - diferenças.....	197
D.4.8	Radiações ionizantes e aplicações médicas	198
D.4.8.1	Radiologia diagnóstica	198
D.4.8.2	Radiologia diagnóstica com raios X	198
D.4.8.3	A interação da radiação com o paciente.....	198
D.4.8.4	Tomografia computadorizada	199

D.4.8.5	Aplicações médicas com outras radiações: Fontes com núclídeos radioativos seladas (radioterapia) ou não (medicina nuclear e), gamacâmaras/cintiladores e tomógrafos pet.....	202
D.4.9	Referências	204

D.1 UNIDADE 1 – OSCILAÇÕES, RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA E FÍSICA ONDULATÓRIA

D.1.1 Unidade 1 – Parte 1 - Oscilações na Mecânica Clássica

Objetivos:

- Inicialmente, relembrar ou aprofundar os conhecimentos sobre oscilações do professor do ensino médio ou do estudante de Física Geral;
- Sugerir atividades que podem ser utilizadas com alunos.

D.1.1.1 Tarefa “Onde encontramos osciladores”

Sugerimos que cada grupo de alunos elabore uma relação de exemplos onde são encontrados osciladores (harmônicos ou não) e para que servem.

D.1.1.2 Adaptação (tradução reduzida) de trecho do capítulo Movimento Harmônico da coleção de videoaulas Universo Mecânico de David Goodstein

Osciladores como o pêndulo são adequados para medir o tempo. A precisão na forma de medirmos o tempo surgiu com o princípio físico do movimento oscilatório periódico. Este mesmo movimento se tornou o único meio preciso na medição de tempo. A noção de tempo também se desenvolveu a partir da observação de ciclos da natureza (estações do ano, movimentos cíclicos do Sol, da Terra e da Lua em diferentes civilizações). Quinhentos anos depois dos relógios de Sol, egípcios desenvolveram o relógio de água - gotejos de água revelavam linhas sucessivas no interior de um pote de alabastro. Séculos depois, artesões chineses melhoraram o projeto acionando pequenas caçarolas presas sobre uma roda. Relógios semimecânicos foram desenvolvidos no ocidente, no século XIII, a partir dos relógios trazidos por Marco Polo da China. Entretanto, estes apresentavam problemas, pois a água congelava nos invernos rigorosos da Europa. No século XIV, foram desenvolvidos relógios com areia, as areias do tempo (ampulhetas); estes não congelavam, mas seu funcionamento ficava restrito a intervalos pequenos de tempo, de acordo com o tamanho dos recipientes. Por volta dessa época apareceram os primeiros relógios mecânicos, que surgiram com partes móveis, incluindo polias, pesos, engrenagens e alavancas.

Abaixo, a adaptação de outros trechos apresentados no vídeo:

... a equação diferencial do movimento harmônico refere-se a qualquer sistema físico que, ao ser perturbado, tende a recuperar sua posição de equilíbrio por meio de uma força proporcional à perturbação (força restauradora). Isto acontece com um sistema de um corpo ligado a uma mola, que tem seu movimento descrito pela solução de uma equação diferencial, denominada de equação diferencial do oscilador massa-mola. ... e também ocorre com a pressão do ar em tubos de órgãos,

o ângulo de um pêndulo, a flexão de um diapasão ou o movimento do mecanismo (rotação) de um relógio mecânico. Esses sistemas e muitos outros executam oscilações harmônicas.

Porque alguns instrumentos musicais são chamados de harmônicos?

São harmônicos no sentido de que, mesmo decrescendo a amplitude da oscilação, continuam emitindo a mesma frequência, mas com menor intensidade.

O movimento harmônico simples é a *resposta da natureza* a qualquer perturbação de um sistema em equilíbrio estável, não apenas sistemas massa-mola ou pêndulos simples, mas também, tubos de órgão e circuitos elétricos e até mesmo átomos de uma rede cristalina.

(trecho adaptado para texto de apoio retirado do volume 16 (de 52) das aulas de David Goodstein – Universo Mecânico.)

D.1.1.3 Definindo o MHS a partir do Movimento Circular Uniforme (MCU)

Inicialmente, relembrar-se-ão as características dinâmicas e cinemáticas do movimento circular uniforme de um corpo:

- um corpo executa um MCU quando a resultante das forças nele exercidas é constante em módulo e orientada para o centro da trajetória;

- como a resultante das forças é centrípeta e constante em módulo, a aceleração do corpo também é centrípeta e seu módulo é dado por $a_c = \frac{v^2}{R}$:

- sua velocidade angular $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ em relação ao centro da trajetória é constante, de forma que ângulos iguais são percorridos em intervalos de tempo também iguais;

- em uma volta completa há um deslocamento angular de $2\pi \text{ rad}$ (ou 360°) e o intervalo de tempo para ocorrer uma volta completa é chamado de período T , então $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T}$;

- como a frequência do movimento é igual ao inverso do período ($f = \frac{1}{T}$), então $\omega = 2\pi f$;

- o comprimento da trajetória percorrida pelo objeto em uma volta (ΔS) é igual ao comprimento da circunferência, isto é, $\Delta S = 2\pi R$, sendo R o raio da circunferência;

- a componente tangencial de seu vetor velocidade é constante em módulo, mas a velocidade sofre variação constante em sua direção e sentido (devido à aceleração produzida pela força resultante centrípeta);

- como o módulo da velocidade linear é $v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{2\pi R}{T}$, a relação entre ele e o módulo da velocidade angular ω é: $v = \omega R$;

- no MCU a aceleração não possui componente tangencial;

- já a componente radial (ou centrípeta) é $a_c = \frac{v^2}{R}$ e como $v = \omega R$, então

$$a_c = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R$$

Pode-se visualizar um MHS em uma projeção de um MCU. Supondo que um corpo execute um MCU em um plano horizontal, como uma mesa, um observador, posicionado em frente e com os seus olhos ao nível do plano da mesa, verá o corpo descrevendo um MHS.

Se um objeto descreve o MCU com uma trajetória circular no plano cartesiano, com o centro da circunferência na origem das coordenadas, observar-se-á a projeção deste movimento em relação ao eixo das abscissas.

Isso pode ser concretizado com um toca-discos antigo, com um objeto sobre sua plataforma giratória, uma lanterna e um anteparo. Deve-se direcionar a lanterna de forma a que seus raios incidam paralelamente ao plano do toca-discos para se visualizar a sombra do objeto no anteparo vertical. Pode-se manter a haste central do toca-discos para se visualizar a origem do eixo das abscissas. Pode-se colar setas (desenhadas em cartolina) no objeto indicando a sua velocidade tangencial e a sua aceleração centrípeta com o intuito de se observar a projeção destas setas no anteparo. Outra opção seria filmar o movimento com uma câmara fotográfica digital (com a câmara na posição da lanterna) e analisar o vídeo utilizando o *software Tracker* ao invés de analisar as sombras no anteparo. A projeção do movimento do corpo vai oscilar entre $x = +R$ e $x = -R$. O raio R da circunferência passa a ser a amplitude "A" do MHS. A velocidade na direção x é nula nestes pontos extremos já que são pontos de inversão de sentido do movimento, enquanto que ela é máxima em $x = 0$. Com a aceleração, se observa o contrário. É máxima (em módulo) nas extremidades e nula na posição central.

Suponha um MCU onde a posição inicial é $x = +R = +A$ e $y = 0$ e um movimento de rotação anti-horário. A evolução da projeção do movimento sobre o eixo x (eixo das abscissas) pode ser escrita como $x = A \cos(\omega t + \delta)$. O ângulo $\theta = \omega t + \delta$ que o vetor posição rotatório forma com o eixo das abscissas se denomina fase do movimento. O ângulo δ que o vetor posição forma com o eixo em questão, no instante $t = 0$, se denomina fase inicial.

D.1.1.4 Desenvolvimento matemático utilizado na videoaula 16 - *Movimento Harmônico* da coleção Universo Mecânico de David Goodstein

Uma vez admitida a expressão da posição em função do tempo no MHS

$$x = A \cos(\omega t + \delta), \quad (1.1)$$

obtem-se, agora, expressões em função do tempo para a velocidade e a aceleração.

Como: $v = \frac{dx}{dt}$, então:

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d(A \cos(\omega t + \delta))}{dt} = -\omega A \sin(\omega t + \delta) \quad (1.2)$$

Da mesma forma:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 A \cos(\omega t + \delta) = -\omega^2 x \quad (1.3)$$

Uma vez obtida a aceleração do MHS ($a = -\omega^2 x$) pode-se obter uma condição dinâmica para o MHS: *um objeto encontra-se em MHS quando a força resultante sobre ele for proporcional ao afastamento x do objeto do ponto médio da sua trajetória (no caso, $x=0$), tendo orientação contrária a este afastamento.*

$$\text{Condição dinâmica para o MHS: } F_{\text{resultante}} = -C \cdot x \quad (1.4)$$

(Aqui $C = m \cdot \omega^2$)

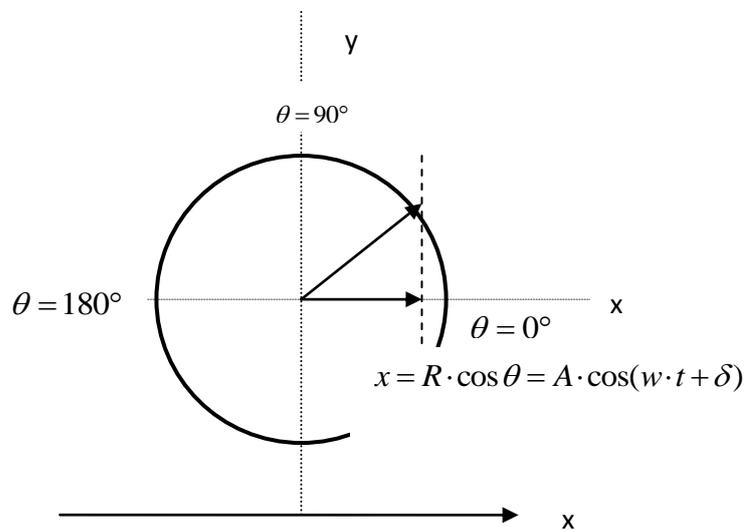


Figura 1.1: A projeção do vetor posição no eixo x é apresentada. Ela é máxima em $\theta = 0$ e

$$\theta = \pi \text{ rad, enquanto ela é nula em } \theta = \frac{\pi}{2} \text{ rad e em } \theta = \frac{3 \cdot \pi}{2} \text{ rad}.$$

As Figuras 1.1, 1.2 e 1.3 apresentam, respectivamente, a projeção geométrica das grandezas posição, velocidade e aceleração sobre o eixo das abscissas e as expressões matemáticas resultantes desta projeção. A demonstração geométrica da pertinência destas expressões ficará como exercício (atividade D 1.1.4.1.4).

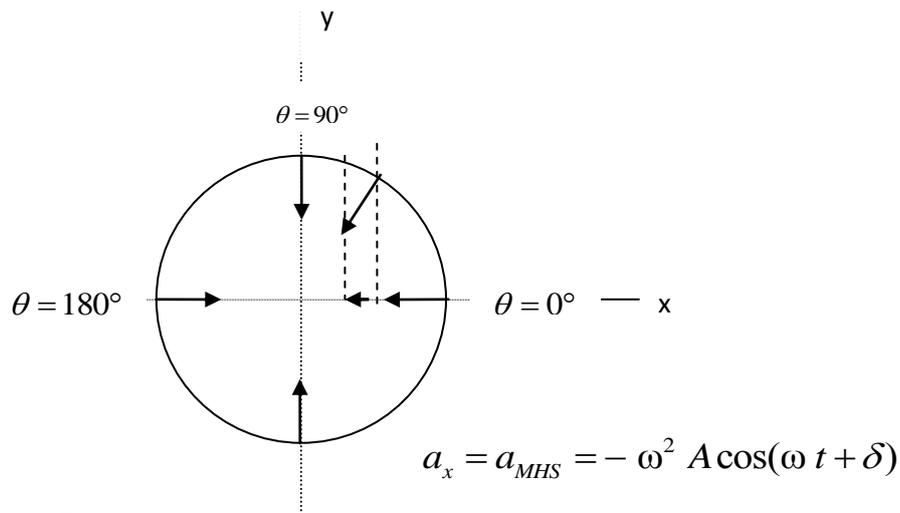


Figura 1.3: A projeção da aceleração centrípeta sobre o eixo x é apresentada. Ela é máxima em $\theta = 0 \text{ rad}$ e em $\theta = \pi \text{ rad}$, enquanto que ela é nula em $\theta = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$ e em $\theta = 3 \cdot \frac{\pi}{2} \text{ rad}$.

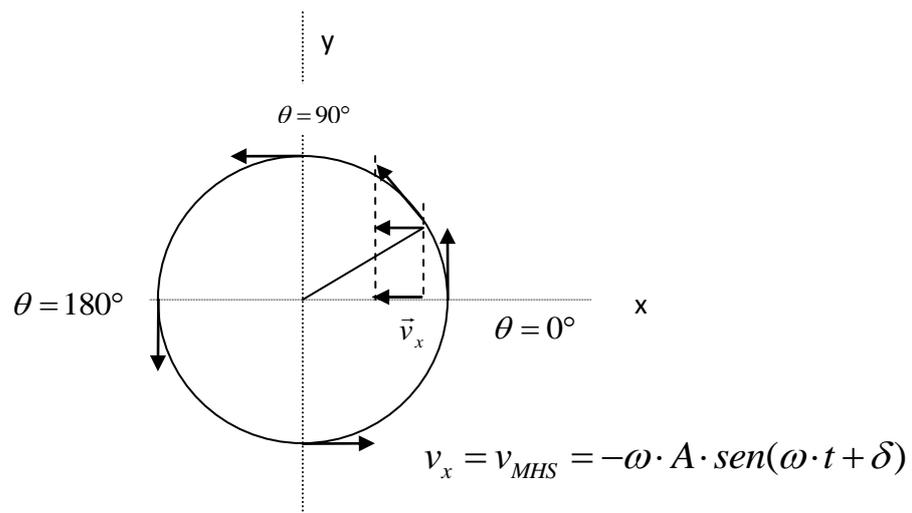


Figura 1.2: É mostrada a projeção do vetor velocidade tangencial sobre o eixo x . Ela é nula em $\theta = 0 \text{ rad}$ e em $\theta = \pi \text{ rad}$, enquanto que ela é máxima em $\theta = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$ e em $\theta = \frac{3 \cdot \pi}{2} \text{ rad}$.

D.1.1.4.1 Atividades propostas

D.1.1.4.1.1 Para visualizar a projeção de um MCU gerando um MHS com aplicativos da rede

A projeção de um MCU sobre dois eixos de coordenadas x e y pode ser visualizada na simulação apresentada em

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/mecanica/shm/shm.html>

que é uma versão em português do original disponível em:

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/circular/oscila1.htm>.

D.1.1.4.1.2 Utilizando a expressão para C e a relação entre ω e T , encontre uma relação geral para o período de qualquer MHS

(Resposta: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}}$ com $C = m\omega^2$)

D.1.1.4.1.3 Descrever apropriadamente a expressão da posição em função do tempo de um MHS em que:

(a) a massa se encontra em $x = 0$ em $t = 0$ (instante de começo da observação) e deslocando-se para o sentido crescente do eixo das posições.

(b) a massa se encontra no instante inicial em $x = +A$.

D.1.1.4.1.4 Obter, a partir de triângulos retângulos das Figuras 1.1, 1.2 e 1.3, as expressões para a elongação, a velocidade e a aceleração do MHS.

D.1.1.5 Pêndulo simples

O pêndulo simples consiste na idealização de um corpo de massa pontual em um campo gravitacional uniforme suspenso por um fio inextensível e de massa desprezível, conforme mostra a Figura 1.4. Uma vez afastado da sua posição de equilíbrio, a ação da gravidade o faz oscilar em um plano vertical. A trajetória decorrente é a de um arco de circunferência. Assim, tem-se uma força resultante centrípeta igual a $[T - m \cdot g \cdot \cos \theta]$ na direção radial (com $T > m \cdot g \cdot \cos \theta$ para que a resultante efetivamente seja centrípeta) e uma força restauradora $F_{Restauradora} = P_x = -m \cdot g \cdot \sin \theta$ na direção tangencial à circunferência. Existe uma condição para que o movimento do pêndulo simples seja um Movimento Harmônico Simples. Se o ângulo θ for suficientemente pequeno, pode-se aproximar $\sin \theta \approx \theta$ e assim a força restauradora é diretamente proporcional ao deslocamento $x = \ell \cdot \theta$, isto é

$$F_{Restauradora} = -m \cdot g \cdot \theta = -m \cdot g \cdot \frac{x}{\ell} \quad (1.5)$$

Nestas condições ideais o movimento é, então, um Movimento Harmônico Simples, com a constante $\frac{m \cdot g}{\ell}$ fazendo¹⁸ o mesmo papel da constante elástica k do oscilador massa-mola, onde $F = -k \cdot x$.

Como já visto para o oscilador massa-mola o período é dado por $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$ e, substituindo k por $\frac{m \cdot g}{\ell}$ se obtém:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{m \cdot g}{\ell}}}, \text{ e então o período do pêndulo simples é dado por:}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}. \quad (1.6)$$

O pêndulo simples, oscilando com pequena amplitude, seria um *relógio perfeito*. Para relógios de pêndulos reais, forças dissipativas não são desprezíveis e, então, se faz necessário um mecanismo para compensar as perdas de energia mecânica. Conforme Usher (1993), em 1657 Christian Huygens inventou um relógio com tais propriedades denominado *relógio de pêndulo com escapamento*.

D.1.1.6 Sugestões de tarefas a serem abordadas com alunos do Ensino Médio

D.1.1.6.1 Acesse o *applet* disponível no endereço: http://www.walter-fendt.de/ph14br/springpendulum_br.htm.

a) Por enquanto, neste *applet* só observe o que ocorre com a elongação e sua relação com o passar do tempo. Para tanto, varie - não simultaneamente, a constante elástica, a massa e a amplitude do movimento do corpo.

b) Observe no *applet* o que ocorre com a velocidade, a aceleração, a força da mola sobre o corpo e as energias cinética, potencial e mecânica conforme a posição que o corpo acoplado à mola ocupa. Em uma planilha eletrônica faça os gráficos correspondentes.

¹⁸ $m \cdot g / \ell$ é a constante de proporcionalidade C entre a força resultante e a posição do corpo. Portanto, está satisfeita a condição dinâmica para o MHS.

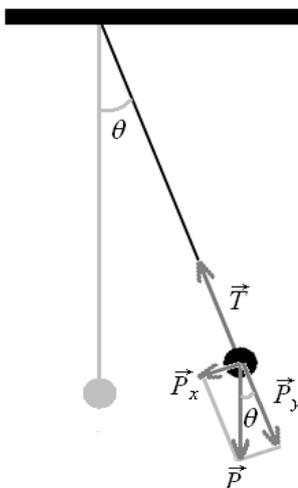


Figura 1.4: É apresentado um pêndulo simples onde são mostradas as forças \vec{T} e \vec{P} às quais o corpo de massa m está sujeito.

D.1.1.6.2 Acesse o *applet* disponível no endereço:

http://www.walter-fendt.de/ph14br/pendulum_br.htm.

Com a visualização permitida pela simulação, procure:

- Descrever características da posição, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia mecânica, da energia cinética e da energia potencial nas duas extremidades e no ponto de equilíbrio das oscilações;
- Reconhecer os gráficos correspondentes à variação da posição, velocidade, aceleração, força resultante, energia mecânica, energia cinética e energia potencial com o passar do tempo.

D.1.1.6.3 **Atividade alternativa utilizando o software Tracker¹⁹**

Filmar um pêndulo real e, utilizando o *software Tracker*, confeccionar os gráficos do movimento (velocidade, aceleração e força resultante na horizontal, energia mecânica, energia cinética e energia potencial com o passar do tempo).

D.1.1.6.4 Fazer uma estimativa do módulo da aceleração da gravidade (intensidade do vetor campo gravitacional) a partir da medida do comprimento de um pêndulo real e do período correspondente.

D.1.1.6.5 Acesse o aplicativo "Movimento 2D", disponível em português em:

http://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/motion-2d.

¹⁹Tracker Disponível em: <http://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker>. Acesso em: 27 out. 2014.

a) Na opção **Circular** alterne da posição **Mostrar um** para a posição **Mostrar o outro** identificando qual a seta (de que cor) representa:

a velocidade → seta _____ (verde ou azul)

a aceleração → seta _____ (verde ou azul)

b) Na opção **Movimento Harmônico** repita o procedimento de identificar qual a seta (de que cor) representa:

a velocidade → seta _____ (verde ou azul)

a aceleração → seta _____ (verde ou azul)

c) Descreva as características da posição, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia potencial, da energia cinética e da energia mecânica nas duas extremidades do movimento e no ponto de equilíbrio das oscilações deste MHS, completando a tabela abaixo:

Considere as seguintes posições: $-A$ como aquela mais à esquerda, 0 no centro de oscilação e $+A$ na posição mais à direita.

Tabela D.1.1: Características de várias grandezas do MHS no ponto de equilíbrio e nos pontos extremos do movimento.

Elongação	-A	0	+A
Velocidade			
Aceleração			
Força resultante			
Energia cinética			
Energia potencia			
Energia mecânica			

Para completar a Tabela D.1.1, escolha dentre as palavras em **negrito** abaixo:

Velocidade: **Máxima** em módulo ou **Nula**;

Aceleração: **Máxima** em módulo ou **Nula**;

Força resultante: **Máxima** em módulo ou **Nula**;

Energia cinética: **Máxima** ou **Nula**;

Energia potencial: **Máxima**, **Mínima** ou **Nula**;

Energia mecânica: **Constante** ou **Variável**.

D.1.1.6.6 Na Figura 1.5, abaixo, está representado o resultado do cálculo realizado com uma planilha eletrônica para a posição em função do tempo de uma partícula em um Movimento Harmônico Simples. Considere a massa do corpo que realiza este MHS igual a 1kg.

a) Encontre as funções horárias da elongação, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia cinética, da energia potencial e da energia mecânica para este movimento.

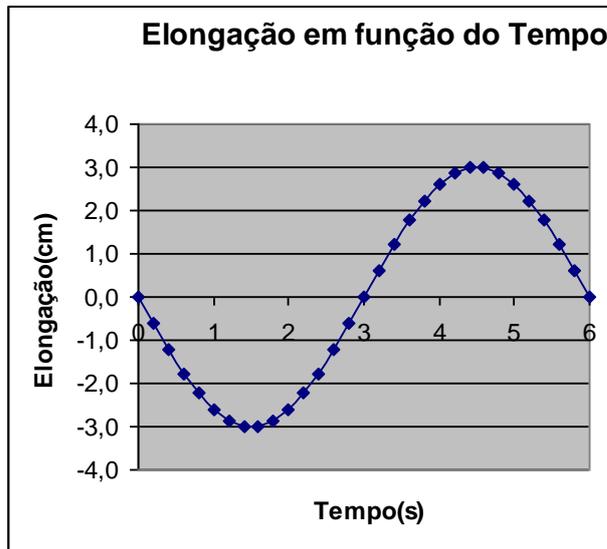


Figura 1.5: A elongação como função do tempo de um MHS.

b) Faça os gráficos correspondentes à variação da elongação, da velocidade, da aceleração, da força resultante, da energia cinética, da energia potencial e da energia mecânica com o passar do tempo em uma planilha eletrônica.

D.1.1.6.7 Acesse o aplicativo disponível em:

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Pendulum_Lab ou em português

http://phet.colorado.edu/sims/pendulum-lab/pendulum-lab_pt_BR.html.

Na tabela da direita do cenário da simulação selecione as seguintes opções:

Length (*comprimento*) = 2,0 m;

Mass (*massa*) = 1kg.

Não selecione **Show 2nd pendulum** (*Mostrar segundo pêndulo*).

Friction none (*sem atrito*)

Real time (*tempo real*)

Earth (planeta Terra)

Arraste o pêndulo 1 até a posição angular de 15°. Selecione a tecla **Play** para o pêndulo começar a oscilar.

Observação: As opções **Show velocity** (*mostrar a velocidade*) e **Show acceleration** (*mostrar a aceleração*) e **Show energy of 1** (*mostrar a energia do pêndulo 1*) podem ajudar na resolução da questão 1.6.6.2.

- a) Meça o período e a amplitude de oscilação do pêndulo simples nestas condições. Isto pode ser feito utilizando a opção **other tools** (*outras ferramentas*) – assim aparecerá um cronômetro e uma trena no cenário ao lado do pêndulo. Sugestão: contar o tempo de 10 oscilações completas e fazer a média.

Período medido pelo *cronômetro digital*: _____

Amplitude medida pela *trena virtual*: _____

- b) Qual é, então, o valor que este aplicativo atribui à aceleração da gravidade da Terra na sua superfície?
- c) Clique em **Reset** para parar o movimento do pêndulo. Escolha agora a opção $g=0$ no quadro à direita do cenário. Volte a colocar o pêndulo na posição angular de 15° e clique em **Play**. O que ocorre? Por quê?
- d) Volte a selecionar a opção **Earth** (*Terra*) e coloque o pêndulo em movimento. A seguir, retorne à opção $g=0$.
- e) Que tipo de movimento o móvel descreve agora?
- f) O que ocorre com a energia potencial nestas condições?
- g) E o que ocorre com a força resultante?

D.1.2 Unidade 1 – Parte 2 - Física ondulatória, som e radiação eletromagnética*

Objetivo: Explorar sequências de atividades que podem ser realizadas com alunos do Ensino Médio sobre os tópicos de Física ondulatória, som e radiação eletromagnética.

D.1.2.1 Oscilações, ondulatória e eletromagnetismo numa perspectiva integrada

Ao invés de prosseguirmos com a elaboração de um texto teórico vamos propor uma sequência de atividades relativa à Física ondulatória, ao som e à radiação eletromagnética que poderiam compor uma prática pedagógica norteada pela visão abrangente do texto *A matéria, uma aventura do espírito - fundamentos e fronteiras do conhecimento físico* (Menezes, 2005). Este texto é um livro de divulgação científica destinado a educadores, principalmente professores de Física.

Em seu capítulo IV, aborda Campos e Ondas. Inicialmente, enfatiza que o vácuo não é um nada absoluto visto que se encontra *preenchido e percorrido por campos e ondas*. A seção 3 deste capítulo trata de *Oscilações no vácuo e outras ondas* relacionando ondas mecânicas e eletromagnéticas. Há uma preocupação muito evidente do autor de não apresentar as ondas distintamente da sua produção e recepção. O eletromagnetismo e movimentos oscilatórios distintos são discutidos.

Eis alguns trechos transcritos do livro que podem servir de *links didáticos* na tentativa de observarmos que faz sentido apresentar oscilações, ondulatória e eletromagnetismo numa perspectiva integrada.

Cordas... ..ou cones de alto-falantes vibram, alternando estados de tensão maior, de energia potencial, com estados de maior movimento, de energia cinética... .. Em contato o ar, elas promovem uma oscilação contínua da pressão local. Como resultado, o abalo da pressão é periodicamente repetido, e chega aos nossos ouvidos através da onda que se propaga com a mesma frequência que foi produzida.

No som, a oscilação da pressão, sentida pelos nossos ouvidos, propaga-se numa sequência de compressões e deslocamentos do ar (p.107)

Gases, como o ar, só transmitem abalos longitudinais, variações de pressão, na mesma direção de propagação do abalo. Sólidos, a exemplo das cordas esticadas de instrumentos musicais, podem também transmitir abalos transversais.

Ondas se espalham ao cruzar um obstáculo ou fenda: é a difração. Ondas afins somam ou subtraem seus campos elétricos ou pressões em cada ponto: é a interferência. Um sistema oscilante responde a sinais coerentes de um outro: é a ressonância.

O circuito oscilante é análogo à corda vibrante alternando estados de tensão e estados de movimento.

*Este material constitui parte do trabalho de Mestrado Profissional de José Fernando Cánovas de Moura, junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UFRGS, realizado sob orientação dos professores Rejane M. Ribeiro Teixeira e Fernando Lang da Silveira.

As frequências de ressonância nas cordas musicais dependem de sua tensão, sua densidade e seu comprimento. De forma semelhante, as dos circuitos oscilantes dependem de características do seu capacitor e da sua bobina.

A mão que aciona um seletor de canais faz a mesma coisa que a mão esquerda de um violonista, escolhe frequências de ressonância.

Das radiofrequências aos raios gama, o único elemento essencial para se produzir uma onda eletromagnética é uma corrente variável, ou seja, cargas sendo aceleradas e freadas.

Em geral, quanto maior a frequência, mais penetrante é a radiação e maior sua energia.

Todas as substâncias têm cargas em contínuo e desordenado movimento e, portanto, todos os objetos emitem continuamente uma grande variedade de ondas eletromagnéticas.

O sinal do áudio pode modular a amplitude da onda portadora ou modular a sua frequência, processos usados respectivamente nas emisoras AM e FM.

Outros trechos deste livro (Menezes, 2005), em páginas anteriores, sintetizam com simplicidade alguns princípios e suas aplicações:

Correntes elétricas produzem campos magnéticos, que podem ser ampliados enrolando-se o condutor numa bobina, resultando em eletroímãs, com que se fazem alto-falantes e motores. (p.103)

A oscilação ou giro de um ímã, junto de uma bobina, produz uma corrente oscilante, efeito utilizado em microfones e geradores. (p.104)

Na busca por simetrias e diferenças:

Uma diferença essencial entre o campo magnético e o elétrico é a inexistência de monopólos magnéticos. Também diferem esses campos na ação sobre as cargas, que só sentem o campo magnético se estiverem em movimento.

E sobre aplicações:

Num tubo de TV ou num osciloscópio, um forte campo elétrico acelera os elétrons, e o direcionamento do feixe para cada ponto da tela exige uma força elétrica ou magnética atuando.

Enfim, uma abordagem abrangente pode ser potencialmente significativa à aprendizagem. Neste sentido poderíamos estimular a elaboração de textos em conjunto a partir da descrição de determinado fenômeno da forma mais sintética e abrangente possível.

Exemplo de síntese que pode ser elaborada sobre produção, propagação e detecção de ondas mecânicas e eletromagnéticas:

Oscilações podem produzir ondas que também são oscilações do meio e/ou de campos. Oscilações de cargas produzem ondas eletromagnéticas que podem se propagar inclusive na ausência de matéria. A variação de fluxo magnético produz força eletromotriz induzida (Lei de Faraday). Assim uma onda em uma corda de guitarra (ou a vibração da membrana de um tambor) pode se transformar em sinal elétrico. Circuitos LC ressonantes produzem ondas eletromagnéticas de frequência característica do circuito assim como forças restauradoras podem resultar em alterações na pressão do meio.

Aqui, encorajamos os professores a realizar atividades de construção de textos em grupo na sala de aula. O professor iria mediando a elaboração dos textos e *negociando significados*.

D.1.2.2 Sugestões de tarefas para alunos do Ensino Médio

D.1.2.2.1 Podemos propor uma atividade dividindo a turma em pelo menos dois grupos. A tarefa de cada grupo é criar um texto procurando descrever todo o processo de produção, propagação e detecção de ondas mecânicas e eletromagnéticas incluindo os processos ressonantes.

Inicialmente, cada grupo teria uma situação para trabalhar, por exemplo:

Grupo 1: O bater de uma baqueta na pele esticada de um tambor gera um som que é ouvido por uma pessoa.

Grupo 2: A corda de uma guitarra é posta a vibrar e alguém ouve o som decorrente que sai de uma caixa de som.

D.1.2.2.2 Tarefa em forma de *Wiki* do grande grupo: Escrever um texto com a descrição de todo o processo de produção, propagação e detecção de ondas quando, ao se bater em um tambor, é produzido um som que é captado pelo microfone de uma emissora de rádio e a seguir uma pessoa em sua casa escuta o som do tambor.

D.1.2.2.3 Atividade exploratória com *Simulador de Onda numa Corda* por PHET-Colorado (disponível em <http://phet.colorado.edu/en/simulation/wave-on-a-string> ou na versão em português on-line: http://phet.colorado.edu/sims/wave-on-a-string/wave-on-a-string_pt.html)

Sugerimos, após uma exploração intuitiva por alguns minutos, que o *applet* seja explorado nos seguintes passos:

a) Na configuração:

Pulse (opção pulso– somente o acompanhamento de um pulso)

Amplitude 50

Pulse Width 50 (Comprimento do Pulso=50)

Damping 0 (Sem amortecimento/Perda de energia=0)

No end (sem fim, sem reflexão)

Tension/Tensão Variar a tensão e confrontar tensão máxima (high/alta) com tensão mínima (low/baixa)

b) Selecionando:

Oscillate (opção Oscilador – fonte em MHS)

Amplitude 50

Frequency 50 (Frequência de oscilação da fonte e da onda=50)

Damping 0 (Sem amortecimento/Perda de energia=0)

No end (sem fim, sem reflexão)

Tension Variar a tensão – confrontar a tensão máxima (*high/alta*) com a tensão mínima (*low/baixa*)

O que se pode observar?

c) Agora troque de *No end* (sem fim) para *Loose End* (extremidade solta) e retorne a opção *Pulse/Pulso*:

Pulse (opção pulso – somente o acompanhamento de um pulso)

Amplitude 50

Pulse Width 50 (Comprimento do Pulso=50)

Damping 0 (Sem amortecimento/Sem perda de energia)

Tension: High (Tensão máxima/alta)

Loose End (extremidade solta)

O que se pode observar?

d) Escolhendo: *Oscillate* (opção oscilar – fonte em MHS)

Amplitude 50

Frequency 50 (Frequência de oscilação da fonte e da onda)

Damping 0 (Sem amortecimento/sem perda de energia)

Tension: High (Tensão máxima)

Loose End (extremidade livre – reflexão sem inversão de fase)

Deve-se deixar fixas as opções sugeridas acima e observar por alguns minutos. Quando a reflexão se dá em fase, a interferência é construtiva. Quando a reflexão é defasada de 180° da onda incidente, se dá interferência destrutiva e diminui a amplitude.

e) Na opção extremidade fixa (*Fixed end*) o modelo com demais opções:

Oscillate (opção oscilar – fonte em MHS)

Amplitude 50

Frequency 50 (Frequência de oscilação da fonte e da onda)

Damping 0 (Sem amortecimento/sem perda de energia)

O sistema fica caótico em seguida. Por quê?

Aqui cabe uma discussão sobre o que são os aplicativos e qual relação que têm com os fenômenos físicos estudados.

D.1.2.2.4 Acesse o aplicativo **Ondas Sonoras (Sound)**, disponível (em português) em <http://phet.colorado.edu/simulations/translations>

a) Explore a opção **Ouça de uma Única Fonte** variando a amplitude e a frequência, ouvindo o som que vem do *Alto Falante* e o escutado pelo *Ouvinte*. Também é possível variar a posição do ouvinte.

b) O que ocorre quando variamos a amplitude do som?

c) O que ocorre quando variamos a frequência do som?

d) Qual a diferença entre o som emitido pelo *alto-falante* e o ouvido pelo *ouvinte*?

e) Varie a posição do ouvinte e descreva o que acontece.

f) Acesse a opção **Duas fontes de Interferência**. Com a opção *ouvinte*, varie a posição dele e encontre regiões de interferência construtiva e de interferência destrutiva. Descreva que posições são essas.

g) Na opção **Ouça variando a pressão**, descreva o que ocorre à medida que o ar é retirado da caixa que envolve o alto falante.

h) Na opção **Medidas, meça**, pelo menos para três frequências distintas, o tempo que uma frente de onda demora para percorrer uma certa distância, determinando a velocidade do som usada pelo aplicativo.

i) Apresente os valores de frequência e de velocidade medidos.

j) A velocidade do som muda com a variação da frequência?

D.1.2.2.5 Acesse o aplicativo disponível em:

http://cepa.if.usp.br/files/simulation/javaapplet/dopplereff_br.htm.

a) Calcule a frequência com que as frentes de onda do *som* emitido pela ambulância atingem o observador quando:

a1) a ambulância se aproxima do observador;

a2) a ambulância se afasta do observador;

b) Se as distâncias entre a extremidade esquerda da casa da esquerda e a extremidade direita da casa da direita for de **50 m**:

b1) qual é a velocidade do som neste aplicativo?

b2) qual é a velocidade da ambulância?

c) Se as velocidades do som e da ambulância fossem multiplicadas por 100 (uma ambulância *turbinada*), e a frequência emitida pela ambulância fosse igual a 500 Hz (e, portanto, aproximadamente 400 vezes maior que no aplicativo), qual seria a frequência observada quando:

c1) a ambulância se aproxima do observador;

c2) a ambulância se afasta do observador

D.1.2.2.6 Atividades experimentais de Ondulatória

D.1.2.2.6.1 Revisão conceitual com atividades básicas demonstrativas. Sugere-se realizar atividades com mola *slink* ou espiral de encadernação, ou ainda, uma corda,

a) apresentando classificação quanto às direções de vibração e propagação das ondas a partir da produção de ondas longitudinais, transversais e espiraladas;

b) produzindo a variação do comprimento de onda com a frequência (aumentando-se a frequência verifica-se a diminuição do comprimento de onda);

c) Demonstrando a reflexão com e sem inversão de fase (extremidade fixa ou livre).

D.1.2.2.6.2 O uso do microcomputador como osciloscópio a partir da placa de som (atividades de acústica)

Recursos materiais utilizados

- 1 Dois diapasões de frequência Lá padrão e um martelo de borracha;
- 2 Flauta doce soprano;
- 3 Garrafa *long neck* e garrafa de 600 ml padrão de cerveja;
- 4 Calha em U de alumínio de 1,20 m de comprimento;
- 5 Computador com placa de som;
- 6 *Software* para aquisição de dados (*Visual Analyser*²⁰).

D.1.2.2.6.2.1 Pode-se identificar a frequência natural de oscilação e a forma da onda emitida por um diapasão utilizando o *software Visual Analyser*. Se formos medir a frequência de uma nota musical, emitida por uma flauta doce, por exemplo, basta emití-la próximo ao microfone do computador com a opção do medidor de frequência (*frequency meter*) ativada. (Selecionar nas abas *Freq. Meter* e, a seguir, acioná-lo clicando em *On*). O valor de pico do espectro é então identificado no *display* com uma resolução de pelo menos 10Hz (*Resolution=10Hz and %Power of peak= 1*) (convém na aba dos *Settings* escolher *calibrate* e em *Input Source* escolher o microfone a ser utilizado (interno ou externo ao computador) alterando o volume da recepção para 100%).

D.1.2.2.6.2.2 Relação entre oitavas com o uso de uma flauta doce soprano e o *Visual Analyser*. Pode-se, facilmente, identificar com o *Visual Analyser*, cada nota musical da oitava mais baixa da flauta até o Mi uma oitava acima. Como o Dó, o Ré e o Mi são tocados com facilidade em duas oitavas nesta flauta, pode-se observar a relação entre as frequências de cada nota em duas oitavas consecutivas (uma é o dobro da outra, por exemplo, o Dó mais baixo é 256 Hz e, uma oitava acima, 512Hz).

D.1.2.2.6.2.3 Alterando os modos de vibração de uma calha de alumínio em U conforme sugerido por Axt (1993)

Procedimento experimental:

²⁰VISUAL ANALYSER. Disponível em: www.sillanumsoft.org. Acesso em 10 set. 2014.

Suspender a calha segurando-a com dois dedos. Bater com um martelo numa das extremidades da barra. Alterar os modos de vibração da calha pela posição em que a seguramos: segurando-a pelo ponto médio da barra (forçando um nodo no meio da barra), identificar a frequência do modo natural de oscilação com o *software*. Repetir o experimento alternando o ponto de sustentação (alternado o ponto onde se força a existência de um nodo) para um quarto de uma das extremidades;

Relacionar as frequências obtidas com as posições dos nodos. (As ondas estacionárias na barra funcionam de forma análoga a um tubo sonoro de extremidades abertas.)

Estimar a velocidade do som na barra de alumínio.

D.1.2.2.6.2.4 Frequências que se pode obter em garrafas de vidro contendo diferentes quantidades de água e com diferentes formas de produzir o som (percutindo ou soprando). Na atividade D.1.2.2.6.2.2 identificou-se a faixa de frequências produzidas em uma flauta doce soprano. O objetivo desta atividade é verificar a possibilidade de reproduzir as notas da flauta em garrafas de vidro com ou sem água. Devem ser explorados diferentes tipos de garrafas, a variação das frequências com diferentes quantidades de água e a forma como as garrafas são sopradas ou percutidas.

D.1.2.2.6.2.5 Uma brincadeira: Quem consegue emitir o som mais agudo ou o som mais grave (com a voz ou assobio ou outro instrumento qualquer)? Basta que cada um emita seu som e se observe a(s) frequências emitidas no *Visual Analyser*. Quando ocorrer a geração simultânea de frequências distintas pode-se visualizar os picos de emissão ativando a opção *Capture Spectrum*.

D.1.2.2.6.2.6 Com o *Visual Analyser* também é fácil de verificar (ouvir e “ver”) batimentos: Basta gerar ondas com frequências muito próximas nos dois canais, por exemplo, 1000 Hz e 1003 Hz captando o som gerado simultaneamente (em *Waveform Generator* escolher uma frequência para o Canal A e outra para o Canal B e ativar a emissão dos sons; simultaneamente ativar a captação e análise do som gerado clicando no botão *On* acima e à esquerda no *Display*).

D.1.2.3 Referências

ATX, R. Ondas estacionárias longitudinais em uma barra metálica. (Demonstre em Aula). *Caderno Catarinense do Ensino de Física*, Florianópolis, v. 10, n. 1; p. 93-94, abril 1993.

BRAUN, L. F. M.; BRAUN, T. A montagem de Young no estudo da interferência, difração e coerência de fontes luminosas. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 11 (3), p.184-195, dez. 1994.

CHEMELLO, A.; LUZZATO, D. *Acústica*. Porto Alegre: Gráfica e Editora do Professor Gaúcho Ltda, 1977.

DORNELLES FILHO, A. A. Uma representação do fenômeno de interferência de ondas utilizando lâminas transparentes e retroprojektor. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.15, n. 1, p.87-91, abril. 1998.

GOODSTEIN, D. L.; BEATY, S.; APOSTOL, T. M.; FRAUTSCHI, S. C.; ARNOLD, J. G.; BUFFA, P. F.; FLETCHER, A. *The mechanical universe and beyond*. Cor. 30 min. 52 episódios. The Annenberg/CPB Project. California Institute of Technology, Southern California Consortium for Community College Television, Corporation for Community College Television. 1985. Episódio 16. Disponível em:

http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=oum&cod=_movimentoharmonico. Acesso em: 20 set. 2014.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. *Física Volume 2*. 5. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2000.

MENEZES, L. C. *A matéria, uma aventura do espírito* - fundamentos e fronteiras do conhecimento físico. São Paulo: Livraria da Física, 2005, 277p.

USHER, A. B. *Uma história das invenções mecânicas*. Campinas: Papirus, 1993.

Alguns endereços de outros *applets* para óptica, ondulatória e temas afins:

- Óptica geométrica por PHET-Colorado

PHET-Colorado. Disponível em:

http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Geometric_Optics. Acesso em: 27 out.2014.

- Reflexão e refração de ondas (explicação pelo princípio de Huygens):

FENDT, W. Disponível em: http://www.walter-fendt.de/ph11br/huygenspr_br.htm. Acesso em: 27 out.2014.

- Efeito estufa pelo PHET-Colorado:

PHET-Colorado. Disponível em:

http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=The_Greenhouse_Effect. Acesso em: 27 out.2014..

- Microondas por PHET-Colorado:

PHET-Colorado. Disponível em: <http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Microwaves>. Acesso em: 27 out.2014.

D.2.1 Unidade 2 – Parte 1- Natureza da luz

Objetivo: Iniciar o aprofundamento sobre interações da radiação com a matéria enfatizando seu caráter corpuscular e o conflito decorrente com a teoria ondulatória clássica que até então havia se tornado hegemônica.

Esta unidade pretende avançar na compreensão sobre a natureza da luz e de suas interações com a matéria.

Inicialmente, apresentar-se-á uma síntese histórica sobre o conhecimento da natureza da luz e sobre a constituição da matéria, os modelos atômicos, até o ano de 1927 quando pela primeira vez foi verificada a difração de elétrons.

D.2.1.1 Síntese histórica do conhecimento sobre a natureza da luz

Da antiguidade são conhecidos os primeiros registros teóricos sobre a natureza da luz e da visão. Talvez não existisse distinção entre luz, visão e fogo naquele tempo. Há menções (Bassalo, 1986) de que pitagóricos-platonistas teriam concepções corpusculares sobre a natureza da luz enquanto os aristotélicos a representassem como *atividade do meio*, uma forma embrionária de uma teoria ondulatória. Para Platão, a visão seria um *fogo divino* devido a jatos de partículas que partiriam dos olhos do observador, do objeto a ser visualizado e de alguma fonte luminosa.

Também da antiguidade vem a ideia de átomo, indivisível para Leucipo e Demócrito e hoje entendido como a unidade que caracteriza um elemento químico. (Curioso que, já na antiguidade, Leucipo e outros atomistas consideravam que tudo é constituído por partículas minúsculas e invisíveis a nossos olhos, em constante movimento e separadas por espaços vazios entre elas.) Estas partículas, os átomos, seriam como que esferas maciças, impenetráveis assim como são descritos no modelo da bola de bilhar de Dalton do início do século XIX.

Al-Hazen (físico e matemático iraquiano que viveu no final do século X e início do XI) teria sido o primeiro a teorizar que a visão seria fruto da incidência em nossos olhos de raios provindos de fontes luminosas (Bassalo, 1986).

Para Newton, no século XVII, a natureza da luz era corpuscular assim como o era para uma parte dos antigos gregos (os pitagóricos/platonistas). Entre 1665 e 1672 Newton verifica a dispersão da luz em um prisma, separando-a nas cores do arco-íris. Usando um segundo prisma, as cores dispersas pelo primeiro, se reagrupam e voltam a compor um feixe de luz branca. Certamente ele não foi o primeiro a decompor a luz e recompô-la com prismas (hindus e chineses já teriam feito isso anteriormente). Mas, somente em 1704, Newton viria a publicar sua obra *Opticks* onde expõe uma teoria corpuscular da luz e um estudo detalhado sobre sua reflexão, refração e dispersão (dependência do índice de refração com a cor da luz).

Huygens, em 1678, defende, sem demonstração experimental, a ideia de que a luz se propaga como onda assim como já fizera Robert Hooke um pouco antes. Neste mesmo ano Huygens verifica a polarização da luz. Em 1690, apresenta um modelo ondulatório para a luz.

Nesta época não havia uma teoria eletromagnética; o experimento de Oersted que identificou a eletricidade e o magnetismo como fenômenos relacionados só viria a acontecer em 1820. O primeiro capacitor, a garrafa de Leyden, parece ter sido construído em 1745. Somente em 1752, Benjamim Franklin publica seus estudos sobre raios e batiza as cargas elétricas em positivas e negativas. Em 1785 é apresentada a Lei de Coulomb.

As *ondas de calor* foram detectadas em 1800 por William Herschel, que dispersou a luz branca com um prisma de cristal e mediu a temperatura de cada uma das cores. Verificou que no vermelho a temperatura era maior que no azul e que, ao lado do vermelho, onde não havia luz visível, a temperatura era maior ainda. As tais *ondas de calor* mais tarde foram chamadas de raios infravermelhos.

O impasse entre as concepções de Newton e Huygens, isto é, entre as teorias corpuscular e ondulatória da luz, perdurou até 1801 com o experimento da fenda dupla de Young, que demonstrou o caráter ondulatório da luz. Neste experimento, observa-se o fenômeno da difração e da interferência de feixes de luz tal qual ocorre com ondas na superfície da água. A conclusão obtida era que, se ocorria interferência luminosa, então a luz deveria ser algum tipo de onda.

Entre 1803 e 1807, Dalton, a partir do estudo de reações químicas, apresenta sua teoria atômica da matéria com o já mencionado modelo da bola de bilhar.

Fresnel, em 1819, apresenta sua teoria ondulatória da luz.

De 1820 (experimento de Oersted) em diante o eletromagnetismo se consolidou e se desenvolveu com contribuições relevantes de Faraday, Ampère e Lenz. Note o leitor que, até esta data, não poderia haver uma teoria eletromagnética da luz porque o conceito de eletromagnetismo sequer havia sido previsto.

No mesmo ano que Faraday apresentou uma teoria da indução eletromagnética (1831), Maxwell afirma o caráter eletromagnético da luz.

1839: o francês Antoine Becquerel descobre a célula fotovoltaica.

Em 1865 o mesmo Maxwell expõe a sua teoria eletromagnética da luz.

A confirmação experimental da natureza eletromagnética da luz só veio acontecer simultaneamente com Hertz e Lodge em 1888. (Um ano antes Hertz havia descoberto o efeito fotoelétrico, cuja análise mais detalhada será apresentada mais adiante). No experimento de Hertz, que permitiu produzir ondas eletromagnéticas de acordo com a previsão da teoria eletromagnética de Maxwell, a tensão gerada por bobinas, por onde passava corrente elétrica, era capaz de produzir descargas. As descargas produziam ondas eletromagnéticas que eram detectadas observando-se a existência de corrente elétrica em outra bobina distante, por consequência da chegada das ondas a esta segunda bobina. Era a transmissão de sinais à distância. Hertz conseguiu produzir ondas eletromagnéticas com seus *osciladores lineares*, medir seu comprimento de onda, sua velocidade e verificar sua refração, reflexão, difração e polarização (Gaspar, 2001), que ocorriam da mesma forma que com a luz e o infravermelho. Verificou que condutores eram bons refletores luminosos e que em

isolantes, a refração era facilitada. Desenvolveu, também, projetos de antenas. Sua obra foi fundamental para o desenvolvimento das telecomunicações. Marconi viria a patentear seu telégrafo sem fio em 1895 e a primeira transmissão de rádio musicada aconteceu em 1920.

Em 1895, Roentgen descobre os raios X e Perrin demonstra que os raios catódicos transportam eletricidade negativa.

Em 1896, Becquerel *descobre a radioatividade*. (Ver Unidade 4)

Em 1897, J. J. Thomson demonstrou que os então chamados de raios catódicos, eram feixes de partículas carregadas que vieram a ser denominados de elétrons. Ele propõe o elétron como partícula subatômica identificando a razão entre a sua carga e a sua massa.

Entre 1900 e 1901 Max Planck elaborou e apresentou o marco inicial da Mecânica Quântica: a Lei de Planck da Radiação de Corpo Negro, onde é apresentado o quantum elementar de ação.

Em 1904, o mesmo J.J. Thomson propõe o modelo atômico do *pudding de passas* onde uma esfera positiva possui cargas negativas incrustadas, os elétrons.

Em 1905, Einstein apresenta cinco artigos²¹ sobre três temas distintos: efeito fotoelétrico, movimento browniano e relatividade especial.

Em 1911, Rutherford propõe o seu modelo atômico *planetário* e Millikan realiza o experimento da gota de óleo e identifica o valor da carga do elétron.

Bohr apresenta sua teoria atômica quântica em 1913.

Sommerfeld melhora o modelo de Bohr incluindo trajetórias elípticas para os elétrons em 1916.

1923 - Observações do efeito Compton.

Em 1924, Louis de Broglie apresenta, em sua tese de doutorado, a teoria onde são associadas ondas a partículas em movimento (a onda de de Broglie) e no átomo, onde se associam ondas às trajetórias dos elétrons. É o início de uma mecânica ondulatória.

1925 – Apresentação da teoria quântica de Heisenberg, a mecânica de matrizes.

1926 – Apresentação da teoria quântica de Schrödinger, a mecânica ondulatória.

Em 1927, G. P. Thomson (filho de J. J. Thomson), Davison e Germer verificam a difração de elétrons corroborando a tese de de Broglie.

D.2.1.1.1 Resumo da síntese

A eletricidade, o magnetismo, a ondulatória e a óptica inicialmente desenvolveram-se como ramos distintos da Física e possibilitaram, pouco a pouco, a formação de uma teoria eletromagnética de larga aplicação e influência na humanidade. Circuitos oscilantes (inicialmente, osciladores lineares de Hertz) geram ondas eletromagnéticas que podem ser detectadas à distância. Com este avanço tecnológico inicia a era das telecomunicações. A luz tem a mesma natureza ondulatória e eletromagnética que os raios infravermelhos e as ondas de rádio. Quando Newton e Huygens começaram a defender suas teorias sobre a natureza da luz, nada se conhecia sobre a relação da

²¹SANTOS, C. A. dos. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/einstein/genio.html>. Acesso em: 27 out. 2014.

eletricidade com o magnetismo. De 1820 em diante, surgiu o eletromagnetismo que se desenvolveu rapidamente possibilitando avanços em toda a ciência e a tecnologia. Não foi diferente com o conhecimento sobre a natureza da luz e da matéria. Desde o experimento da fenda dupla de Young (1801) até o final do século XIX supunha-se que a luz possuía natureza exclusivamente ondulatória. A teoria corpuscular da luz de Newton estava sepultada. No mesmo período, o modelo atômico existente (havia forte oposição à teoria atômica da matéria no final do século XIX) era o da “bola de bilhar” de Dalton, onde se supunha o átomo como partícula indivisível, impenetrável e invisível. Apesar desta apresentação rápida da cronologia dos eventos históricos convém chamar a atenção do leitor de que a ciência não se desenvolve de maneira linear e contínua.

D.2.1.2 Final do Século XIX e primeiro quarto do Século XX – O início da Física Moderna

Havia, nesta época, problemas para os quais os cientistas não encontravam uma teoria capaz de explicar. O problema da radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico eram os fatos concretos, que juntamente com a descoberta dos raios X e da radioatividade no final do século XIX, vieram a revolucionar a Física. Aqui inicia a era da Física Moderna.

D.2.1.2.1 Radiação de Corpo Negro

No final do século XIX, um dos problemas que a Física Clássica não explicava era a da *radiação do corpo negro*. Este problema trata do cálculo da radiação emitida por corpos quando aquecidos ou, mais especificamente, da irradiância (energia por unidade de área e de tempo) emitida em cada frequência ou comprimento de onda.

A habilidade de um corpo irradiar (emitir radiação eletromagnética) está diretamente ligada à propriedade de um corpo absorver a radiação. Um corpo em equilíbrio térmico com o meio absorve o mesmo que emite. *Corpo negro* seria um corpo ideal capaz de absorver toda radiação que nele incide, sendo também o emissor perfeito. O corpo negro é um *corpo quente* que emite espectros térmicos de caráter universal e independente de sua composição.

Qualquer objeto coberto com uma camada difusa de pigmento preto, tal como o negro de fuligem, comporta-se de forma aproximada a um corpo negro. As estrelas (o Sol entre elas) também irradiam de forma aproximada a um corpo negro. Pode-se aproximar as condições ideais de um corpo negro fazendo-se uma pequena abertura em um corpo fechado ou uma pequena cavidade em uma caixa de paredes internas refletoras. A energia radiante que entrar pela cavidade sofrerá múltiplas reflexões nas paredes internas, sendo que somente uma quantidade muito pequena da radiação incidente poderá escapar pela abertura. Daí a *abertura* comportar-se como um absorvedor ideal ou um corpo negro.

Em 1879, Josef Stefan concluiu que a energia total emitida, por unidade de tempo e por unidade de área de um corpo, é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Este resultado foi demonstrado por Boltzmann em 1884 através da teoria eletromagnética de Maxwell e de considerações termodinâmicas (baseada no conceito de pressão de radiação e considerando a radiação como uma máquina térmica).

Lei de Stefan - Boltzmann:

$$\frac{\text{Potência}}{\text{Área}} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.1)$$

onde

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ é a constante de Stefan-Boltzmann

T é a temperatura absoluta do corpo

e ε é um coeficiente de emissividade do corpo. ($\varepsilon = 1$ para o corpo negro ideal)

Quando aquecemos um corpo, por exemplo um metal, sabemos que a partir de determinada temperatura o corpo começa a ficar avermelhado e, se continuarmos a aumentar sua temperatura, ele ficará amarelado e depois esbranquiçado e, a temperaturas maiores ainda, azulado. Este problema sobre a natureza da interação da radiação com a matéria vinha sendo estudado pela Termodinâmica, pelo Eletromagnetismo e pela Física Experimental.

Em 1893, Wilhelm Wien demonstrou o que ficou conhecido como lei de deslocamento de Wien. *A origem do nome “lei de deslocamento” deve-se ao fato de que o comprimento de onda, no qual a intensidade de radiação é máxima, varia (inversamente) com a temperatura de acordo com a relação* (Studart, 2000):

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 0,29 \text{ cm} \cdot \text{K}. \quad (2.2)$$

Segundo a concepção clássica da teoria eletromagnética da luz, cargas aceleradas emitem radiação eletromagnética. Se cargas estiverem, por exemplo, oscilando em um MHS com frequência f , então será gerada uma onda eletromagnética com propagação na frequência da fonte. Ocorre que as tentativas de equacionar o problema da radiação de corpo negro com base na teoria eletromagnética clássica não eram bem sucedidas. O cálculo da função de distribuição da densidade da intensidade da radiação emitida por um corpo negro, em função do seu comprimento de onda, segundo Rayleigh e Jeans, baseia-se na teoria clássica da radiação de cavidades. Os elétrons das paredes metálicas da cavidade oscilam como osciladores harmônicos emitindo radiação (ondas eletromagnéticas). Segundo a teoria eletromagnética clássica a radiação dentro da cavidade deveria existir na forma de ondas estacionárias com nós sobre as superfícies metálicas. A energia irradiada é igualmente distribuída por todas as ondas estacionárias na cavidade, independentemente de suas frequências. Ocorre que esta tentativa de equacionamento revelou, para altas frequências, total desacordo entre o modelo teórico e os dados experimentais. Segundo o modelo de Rayleigh-Jeans a intensidade emitida nas altas frequências tenderia ao infinito. Este desacordo ficou conhecido como *Catástrofe ultravioleta*.

Entre 1900 e 1901, Max Planck *solucionou* o problema da radiação de corpo negro e, ao mesmo tempo, iniciou a Mecânica Quântica. **A principal modificação de Planck foi tratar a energia como uma variável discreta em vez de uma variável contínua, como sempre fora considerada na Física Clássica.**

Postulado de Planck: *Qualquer ente físico com um grau de liberdade, cuja “coordenada” é uma função senoidal do tempo (isto é, executa oscilações harmônicas simples), pode possuir apenas energias totais ε que satisfaçam a relação:*

$$\varepsilon = n \cdot h \cdot f \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots). \quad (2.3)$$

Onde f é a frequência da oscilação e h a constante universal de Planck ou quantum elementar de ação (ação = energia x tempo), cujo valor aproximado é

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}. \quad (2.4)$$

Isto significa que a emissão de energia pelos corpos irradiantes se dá por múltiplos inteiros do produto $h \cdot f$, onde f é a frequência da radiação e h a constante de Planck. É sob a forma de pacotes ou grãos que a energia se manifesta. É da *quantização da energia* que surge a Física Quântica. Segundo Freire Junior e Carvalho Neto (1997, p. 26), *quantum é uma palavra latina que significa quantidade, e entre os cientistas alemães da época ela era usada para representar uma quantidade elementar de uma dada grandeza física*. Note-se que, segundo a concepção clássica, a energia deveria *se manifestar* de forma contínua, enquanto que segundo a concepção quântica ela *se manifesta* de forma discreta para estados ligados.

Atividade sobre Radiação de Corpo Negro: Acessar o *applet* “Radiação de corpo negro”, disponível em: http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Blackbody_Spectrum. Responda as questões abaixo sobre o que você pode observar no *applet*:

- 1) O que pode se observar sobre a variação do comprimento de onda correspondente à máxima intensidade da radiação quando se eleva a temperatura do corpo negro? (*resposta qualitativa esperada: enquanto a temperatura aumenta, diminui o comprimento de onda de maior emissão de energia*)
- 2) Qual seria a função da régua? (*resposta esperada: comparar a proporção de energia irradiada em diferentes comprimentos de onda*)
- 3) Ainda com o *applet* estime a energia total emitida por unidade de área e o comprimento de onda com maior emissão de radiação para:
 - a) um corpo na superfície da Terra a temperatura ambiente de 300K (27°C);
 - b) um forno a 700K;
 - c) o filamento de uma lâmpada incandescente de bulbo a 3000K;
 - d) a superfície do Sol (5700K).

D.2.1.2.2 Efeito Fotoelétrico

A Figura 2.1 apresenta uma montagem experimental simplificada usada para estudar o efeito fotoelétrico.

Basicamente, o efeito fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons quando radiação eletromagnética incide em um material. Os elétrons ejetados são chamados *fotoelétrons*. Hertz

observou este fato enquanto realizava seus experimentos de transmissão e recepção de sinais²². Verificou que seu detector era mais sensível quando o brilho das centelhas elétricas do transmissor era maior. Desde que o efeito fotoelétrico foi apresentado à comunidade científica em 1887 por Hertz, os cientistas passaram a verificar inconsistências com a teoria ondulatória e eletromagnética da luz (lembramos que em 1888 o mesmo Hertz verificou o caráter eletromagnético da luz). As seguintes constatações do efeito fotoelétrico não podem ser explicadas pela Física Clássica (onde a luz é suposta ter apenas caráter ondulatório):

- A emissão de fotoelétrons a partir da incidência da radiação é instantânea, isto é, não há intervalo de tempo entre a chegada da luz e a emissão de elétrons. Segundo a Física Clássica, a energia de uma onda eletromagnética deveria estar igualmente distribuída por toda a onda. Assim, seria de se esperar que o elétron fosse absorvendo energia da onda até que tivesse energia suficiente para abandonar o material;

- Era de se esperar, segundo a teoria eletromagnética da luz que, aumentando a intensidade da luz incidente também houvesse um aumento na energia dos fotoelétrons emitidos. Entretanto, verificou-se que para determinada frequência de radiação incidente a energia do fotoelétron não depende da intensidade da luz. A intensidade da luz só influi no número de fotoelétrons. Quanto maior a intensidade da luz, maior é o número de fotoelétrons;

- Não se esperava verificar qualquer relação da energia cinética dos fotoelétrons emitidos com a frequência da radiação incidente. Entretanto, verificou-se que quanto maior a frequência da radiação incidente, maior é a energia dos fotoelétrons emitidos.

Como foi possível realizar estas observações?

Voltemos ao esquema da montagem experimental, Figura 2.1 (na próxima página).

A radiação eletromagnética incide na placa da esquerda. Dependendo da radiação que incidir e do material de que é feita a placa, pode ocorrer o tal efeito fotoelétrico²³. Dependendo do valor da energia com que o elétron (fotoelétron) for emitido pode ser que alcance a placa da direita. Os elétrons são acelerados a partir da placa da esquerda, que chamamos cátodo²⁴, enquanto que o alvo, isto é, a placa em que os elétrons incidem, chamamos de ânodo. Podemos variar a diferença de potencial entre as placas (medida no voltímetro) alternando as chaves 1 e 2 ou variando de posição o cursor sobre a resistência. Se estabelecermos um potencial positivo do ânodo em relação ao cátodo (chave 2 ligada, no esquema) estaremos acelerando os elétrons ejetados e facilitando sua detecção pelo amperímetro. Isto nos mostrará que elétrons estão sendo arrancados do cátodo, isto é, que está ocorrendo o efeito fotoelétrico. Quando fazemos a ligação da chave 2, do esquema, o potencial ao

²² Um esquema do equipamento que Hertz utilizava quando observou o efeito fotoelétrico pode ser encontrado em Gaspar (2001, p 283).

²³ Nas primeiras investigações sobre o efeito fotoelétrico o material era um metal e a radiação na faixa do ultravioleta. Mas como veremos na Unidade 4, o efeito fotoelétrico também ocorre nos átomos quando expostos a raios X.

²⁴ Os raios catódicos eram assim chamados porque saíam do cátodo; já dissemos que em 1897 J.J. Thomson demonstrou que, os então chamados de raios catódicos, eram feixes de partículas carregadas que mais tarde vieram a se chamar de elétrons; trabalhando também com tubos de raios catódicos, em 1895 Roentgen descobriu os raios X.

invés de acelerar elétrons ao ânodo, atua em sentido contrário. Por isso é chamado de potencial de retardo²⁵ ou de frenagem.

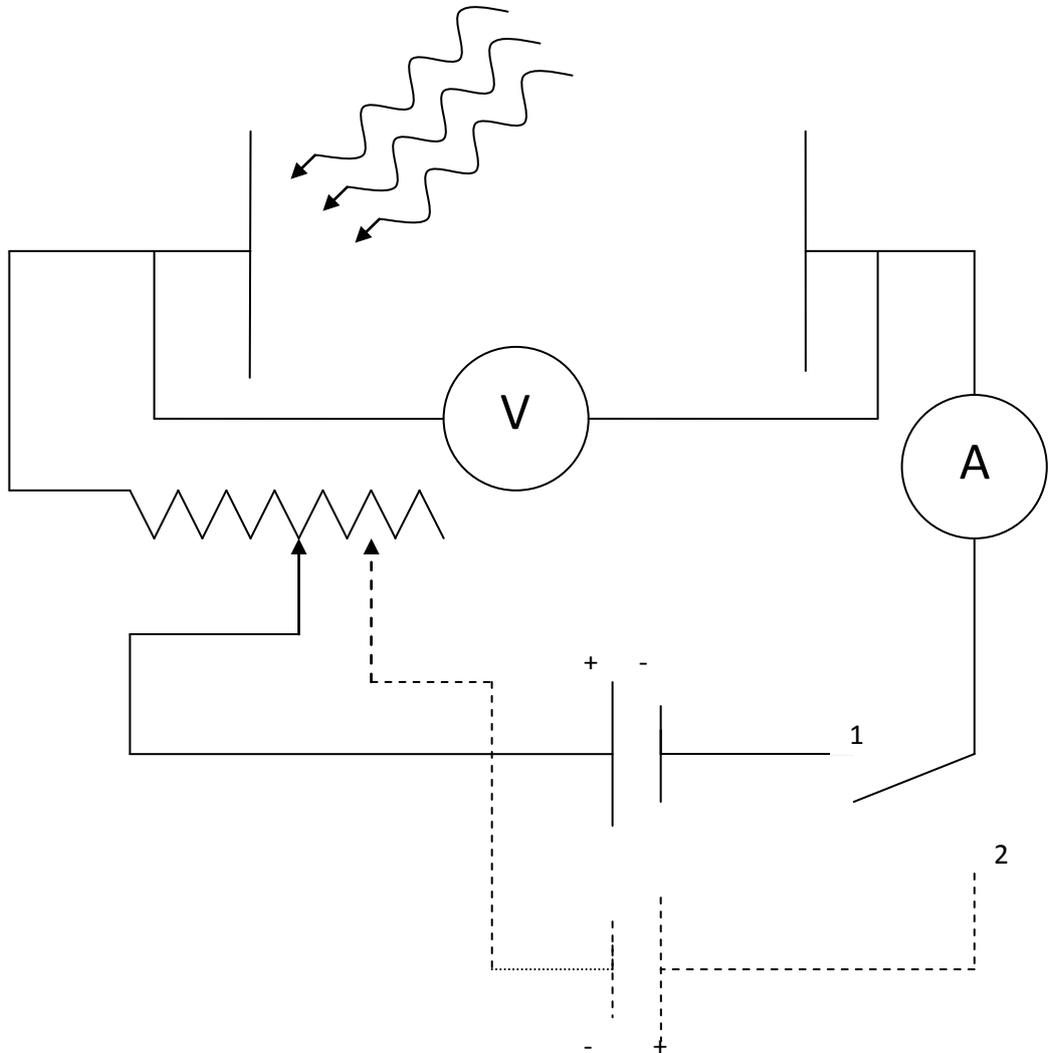


Figura 2.1: Arranjo experimental simplificado do efeito fotoelétrico.

Se aplicarmos um potencial de retardo suficiente para que não seja mais detectada corrente alguma no amperímetro, então poderemos estimar a energia cinética com que os fotoelétrons de maior energia estão abandonando o cátodo (energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos $E_{c_{máx}}$). *Pode-se afirmar que não há mais emissão de elétrons quando a corrente medida no amperímetro é nula* (Gaspar, 2001, p.286). Nesta afirmativa de Gaspar, estamos idealizando o

²⁵ Nestas circunstâncias o potencial é chamado de *potencial de retardo* porque aos movimentos em que a força resultante é contrária ao sentido do movimento, a energia cinética diminui e chamamos esse movimento de movimento retardado. Em uma análise cinemática o movimento é retardado quando o módulo de sua velocidade decresce com o passar do tempo.

amperímetro tanto por ter resistência nula, quanto pela sua sensibilidade. Além disso, faz-se a suposição de que não é significativa a energia necessária para que os elétrons ejetados atinjam a placa coletora. Com o experimento sendo realizado em um tubo evacuado (baixíssima pressão) e com uma geometria apropriada, podemos chegar bem perto disso.

Vamos lembrar a definição de diferença de potencial elétrico entre dois pontos A e B, neste caso, cátodo e ânodo: $V_{AB} = \frac{T_{AB}}{q}$ isto é, a d.d.p. é dada pelo trabalho realizado pela força elétrica, T_{AB} , por unidade de carga.

Se chamarmos de *potencial de corte* V_0 , o potencial de retardo em que a corrente no amperímetro é nula, então podemos encontrar o trabalho realizado pela força elétrica através da expressão $T_{AB} = V_{AB} \cdot q$, com $q=e$ (*carga elementar*) e $V_{AB}=V_0$.

E, então:

$$Ec_{\text{máx}} = e \cdot V_0. \quad (2.5)$$

A partir da quantização de energia proposta por Planck, Einstein propôs em 1905 que o efeito fotoelétrico poderia ser entendido se a energia da luz não estivesse distribuída uniformemente por toda onda, mas sim concentrada em pequenos pacotes denominados *fótons* ou *quanta de luz*. Nestes: $E = h \cdot f$ (energia quantizada de Planck), sendo f a frequência da luz incidente e h a constante de Planck (quantum elementar de ação).

Assim:

- O fato de não haver tempo algum entre a absorção da energia e a emissão dos fotoelétrons passa a ser explicada pela concentração da energia em tais "pacotes de onda" (fótons). Toda energia que um elétron precisa para deixar um material é entregue de uma só vez por um fóton.

- Todos os fótons de mesma frequência f têm mesma energia (já que $E = h \cdot f$). Assim, mudando a intensidade de um feixe incidente monocromático, mudamos o número de fotoelétrons emitidos, mas não sua energia.

- Quanto maior a frequência f , maior é a energia do fóton e, então, maior é a energia do fotoelétron emitido.

Também foi constatado que, para cada material, existe uma frequência crítica f_0 , denominada *frequência de corte*, abaixo da qual nenhum fotoelétron é emitido. Isto ocorre porque, também para cada material, há uma energia mínima ϕ necessária para que um elétron consiga escapar de sua superfície. Esta energia é chamada *função trabalho do material* e é relacionada com a frequência de corte pela expressão $\phi = h \cdot f_0$ (quanto maior for a função trabalho, maior será a energia necessária para que um elétron do material deixe a sua superfície).

Se luz (radiação eletromagnética), de energia $h \cdot f$ incide em um material de função trabalho ϕ , então a energia cinética máxima dos fotoelétrons emitidos será dada pela diferença entre a energia entregue pelo fóton e aquela necessária para ejetá-lo, isto é:

$$E_{c_{máx}} = h \cdot f - \phi = h \cdot f - h \cdot f_0 . \quad (2.6)$$

Esta expressão é conhecida como equação do efeito fotoelétrico.

D.2.1.2.2.1 Atividade sobre o efeito fotoelétrico

Cada grupo de três componentes deverá explorar uma das simulações abaixo e, posteriormente, relatar aos colegas as suas potencialidades didáticas no Ensino Médio. Uma discussão final será realizada procurando encontrar consenso sobre qual seria o material de maior potencialidade de aprendizagem significativa nos contextos dos professores.

Construir individualmente, em grupos separados ou em uma *wiki*, um roteiro de atividades para uma prática pedagógica. Este poderia compor o *trabalho de aplicação* previsto neste curso de extensão.

Os *Applets* a serem utilizados estão disponíveis em:

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Photoelectric_Effect;

http://www.walter-fendt.de/ph14br/photoeffect_br.htm;

http://rived.mec.gov.br/atividades/concurso_2005/Efeitofotoeletrico/Anima%e7%e3o/foto_mod7.swf.

D.2.1.2.3 Efeito Compton e o caráter corpuscular da luz

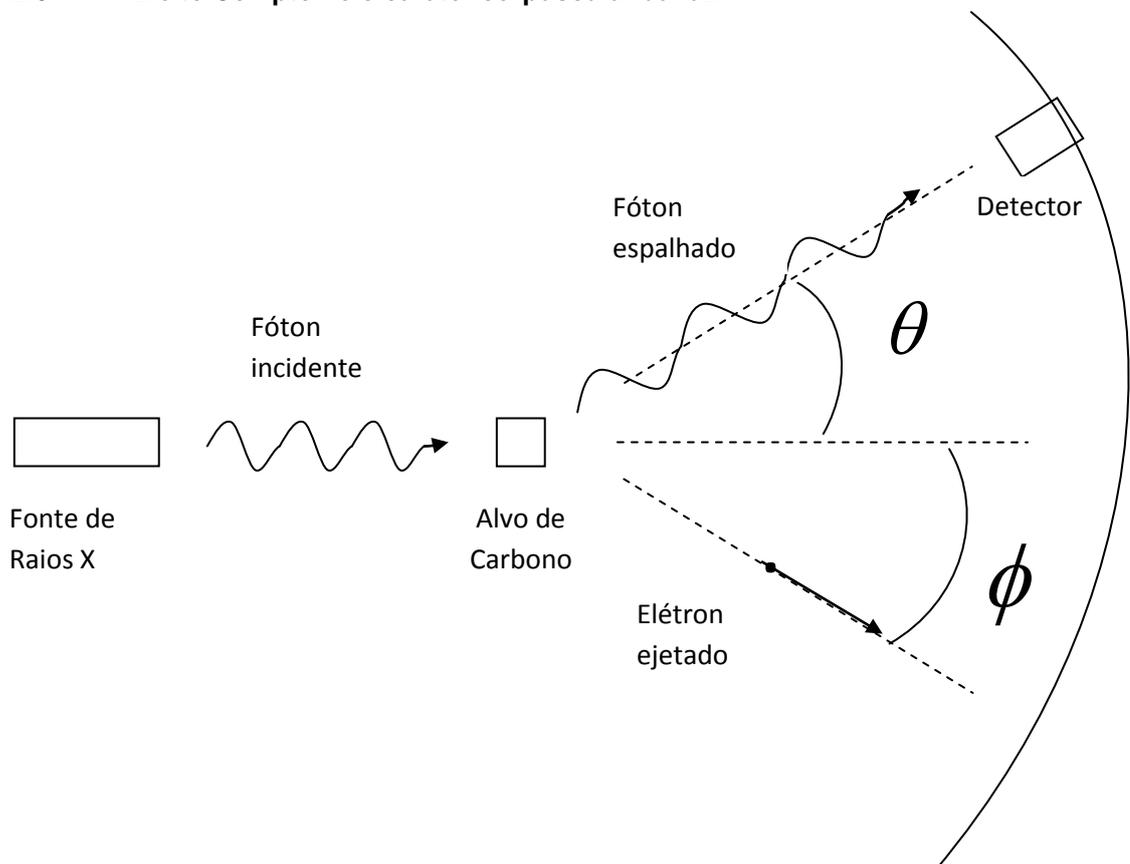


Figura 2.2: Arranjo experimental do efeito Compton.

Um feixe de raios X incide em um alvo (de carbono no arranjo original) de forma que elétrons do alvo são ejetados enquanto que os fótons são espalhados.

Verificam-se no detector, para cada comprimento de onda incidente e ângulo de espalhamento, dois picos de radiação. Um com comprimento de onda da radiação incidente e outro com um comprimento de onda maior. Verifica-se ainda que a diferença de comprimentos de onda que chegam no detector é maior para maiores ângulos de espalhamento.

Compton atribuiu a seguinte explicação a este fenômeno.

Fótons interagem com elétrons livres em comportamento análogo das colisões entre bolas de bilhar, ocorrendo simultaneamente a conservação da energia e da quantidade de movimento do sistema. Este efeito é mais uma evidência do caráter corpuscular da luz. Estabeleceu também, decorrente da conservação da energia e da quantidade de movimento do sistema, uma relação entre os comprimentos de onda observados:

$$\lambda_1 - \lambda_o = \lambda_c (1 - \cos \theta). \quad (2.7)$$

onde λ_1 é o comprimento de onda da radiação espalhada, λ_o é o comprimento de onda da radiação incidente. A quantidade λ_c é o comprimento de onda de Compton e é dada por:

$$\lambda_c = \frac{h}{m_o \cdot c}, \quad (2.8)$$

onde: $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ (constante de Planck), m_o é a massa de repouso do elétron e $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ é a velocidade da luz no vácuo.

A explicação para que sejam detectados também fótons de comprimento de onda da radiação incidente é que estes seriam decorrentes não da interação com elétrons livres, mas sim com partículas de massas muito maiores (átomos, elétrons presos a seus átomos). Sem conseguir ejetá-los do material, os fótons continuam com o mesmo comprimento de onda (este espalhamento é denominado espalhamento Thomson) (e, portanto, mesma energia). Em uma analogia com bolas que retornam do choque com paredes em colisões perfeitamente elásticas (mesma energia cinética).

D.2.1.3 Outras atividades

D.2.1.3.1 A interação dos raios X com a matéria

Nossa visão não é adequada para visualização do *mundo* atômico. A faixa do visível enquadra-se entre 400 e 700 nm. Já os raios X são ondas da ordem de 0,1 nm (1 Angstrom) e, portanto, bem menores. Os átomos têm 1 ou 2 Angstroms de raio. Estudar o efeito da incidência de radiação eletromagnética deste comprimento de onda sobre átomos pode nos trazer revelações sobre a sua natureza.

No *link* abaixo

<http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/Flash/Nuclear/XRayInteract/>

fazer o download da simulação.

Nela são apresentadas três possibilidades de interação de raios X com a matéria através de simulações.

Sigam o roteiro abaixo para a exploração da simulação, respondendo as perguntas com a ajuda das legendas em inglês:

1) Como é representado o átomo nestas animações?

2) O que incide nas proximidades do átomo nas três simulações?

3) Escolha *efeito fotoelétrico* e clique na seta verde (prosseguir).

Quais são as modificações observadas decorrentes da interação do objeto incidente com o átomo?

4) Escolha *efeito Compton* e clique na seta verde (prosseguir).

Quais são as modificações observadas decorrentes da interação do objeto incidente com o átomo?

5) Escolha *produção de pares* e clique na seta verde (prosseguir).

Observe que desta vez a interação do objeto incidente e o átomo produz um fenômeno bem mais complexo. Descreva as diferentes etapas observadas.

D.2.1.3.2 Atividade sobre o efeito fotoelétrico

Acesse o *link*: http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Photoelectric_Effect.

Inicialmente explore o aplicativo tentando gerar dados e visualizar os gráficos correspondentes.

I. Com o comprimento de onda de 400nm e o material escolhido sendo o sódio verifique:

1) Corrente elétrica no amperímetro versus tensão na bateria.

Selecione o gráfico corrente elétrica versus tensão da bateria. Assim, coloque a intensidade em 100% e varie a tensão na bateria obtendo o gráfico correspondente.

Faça no espaço abaixo um esboço do gráfico obtido e tente interpretá-lo.

Afinal, de que forma a variação da tensão na bateria altera a corrente elétrica medida no amperímetro?

2) Corrente elétrica versus intensidade da luz.

Selecione o gráfico corrente elétrica *versus* intensidade da luz (ainda com o comprimento de onda de 400 nm).

Varie a intensidade da luz e, no espaço abaixo, faça um rascunho do gráfico correspondente.

Também descreva o que acontece quando, ocorrendo o efeito fotoelétrico, somente a intensidade da luz incidente é alterada.

II. Ainda com o sódio, mas agora variando a frequência:

1) Energia do elétron emitido versus frequência da luz.

Variando o comprimento de onda da luz incidente (com sódio, tensão nula e intensidade de 100%) esboce abaixo o gráfico correspondente.

Conclua o que ocorre com a energia do elétron emitido quando se varia a frequência da luz incidente.

III. Agora, a respeito do cobre e do zinco:

Encontre os comprimentos de onda de corte e as respectivas frequências de corte para o cobre e para o zinco.

Calcule as funções trabalho destes dois metais a partir do comprimento de onda de corte (ou da frequência de corte) verificados no aplicativo.

Então, em qual destes dois metais o efeito fotoelétrico ocorre com mais facilidade (fóton de energia mais baixa)?

IV. E entre todos os metais disponíveis no aplicativo:

Em qual(is) do(s) metal(is) ocorre o efeito fotoelétrico na faixa do visível?

D.2.1.3.3 Atividade sobre o Efeito Compton.

Acesse as simulações disponíveis em:

http://www.student.nada.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton/Compton.htm e

http://www.student.nada.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton2/Compton.htm (versão interativa).

O que você observa adicionalmente ao que já havia observado quando da simulação utilizada no item **D.2.1.3.1**. Relacione as magnitudes dos comprimentos de onda (incidente com o decorrente da interação) com a energia desses fótons. Dica: No efeito Compton se verifica a conservação da

energia e da quantidade de movimento do sistema consistindo do fóton incidente e do elétron (antes da interação) e do fóton remanescente e do elétron (depois da interação).

D.2.1.3.4 Atividade experimental sobre efeito fotoelétrico e a descarga de eletroscópios

Carregue com carga negativa um eletroscópio metálico (existem eletroscópios adaptados para este experimento) em local de baixa umidade (use, para baixar a umidade relativa do ar, um desumidificador de ambientes daqueles usados em bibliotecas ou um aparelho de ar condicionado, ou ainda, uma estufa ou um secador de cabelos).

- a) Observe o tempo que o eletroscópio demora a descarregar;
- b) Repita o procedimento de carregar negativamente o eletroscópio. A seguir, exponha a superfície do eletroscópio à uma lâmpada emissora de radiação ultra-violeta (cuidado com os olhos; não olhe diretamente para a lâmpada quando ligada). Cronometre o tempo que o eletroscópio demora para descarregar;
- c) Agora carregue o eletroscópio com carga positiva (dica: se carregou por contato após atritar flanela com PVC agora carregue por indução). Novamente exponha a superfície do eletroscópio à lâmpada UV e verifique o tempo até a descarga.
- d) Compare os tempos de descarga e tente elaborar uma explicação sobre o ocorrido.

(Muito comum os alunos demonstrarem a concepção espontânea de que o eletroscópio carregado positivamente demora mais para descarregar porque *não há elétrons para serem arrancados*. Contrariamente a esta concepção, a quantidade de elétrons sempre é enorme, pois qualquer quantidade de carga, em excesso ou em falta, representa uma fração desprezível da carga eletrônica existente em uma placa metálica. Há cerca de 10 C/mm^3 em elétrons em um metal. O que acontece é que os elétrons arrancados são, em seguida, recapturados pelo corpo carregado positivamente.)

D.2.1.4 Referências

BASSALO, J. M. F. A crônica da óptica clássica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 3, n. 3, 138-159, dez. 1986.

FREIRE JR., O.; CARVALHO NETO, R.A. *O universo dos quanta - uma breve história da física moderna*. São Paulo. FTD. 1997.

GASPAR, A. *Física*. 1. ed. São Paulo: Ática. 2002. v. 3.

MOULTON F. R.; SCHIFFERES, J. J. *The autobiography of science*. Garden City, N. Y.: Doubleday Doran, 1945. 666 p.

STUDART, N. A invenção do conceito de quantum de energia segundo Planck. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 523-535, dez. 2000.

D.2.2 Unidade 2 – Parte 2 - Modelos atômicos

Objetivo: Apresentar de forma sintética a evolução dos modelos atômicos evidenciando a incapacidade da física clássica em tratar do *mundo atômico*.

Passa-se de imediato a discorrer sobre a evolução dos modelos atômicos desde a teoria atômica de Dalton até o modelo atômico de Bohr e o comprimento de onda de De Broglie.

D.2.2.1 Teoria atômica de Dalton

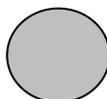


Figura 2.3: Na teoria atômica de Dalton o átomo seria uma esfera maciça, impenetrável e indivisível.

Entre 1803 e 1807, John Dalton, a partir do estudo de reações químicas, apresenta sua teoria atômica da matéria onde o átomo seria como uma *bola de bilhar*: uma esfera maciça, impenetrável e indivisível. Desde a antiguidade, em que o atomismo constituía escola filosófica, até pelo menos 90 anos após o átomo de Dalton a teoria atômica pouco evoluiu. Ainda no fim do século XIX e início do século XX a existência do átomo não era consenso na comunidade científica e a teoria atômica sofria forte oposição por parte de alguns físicos e químicos importantes.

D.2.2.2 Evolução do conhecimento sobre o elétron e sua interferência na construção dos modelos atômicos

Antes de tratarmos especificamente do modelo do *pudim de passas* de J.J. Thomson, vejamos uma constatação sobre a existência dos elétrons do próprio Thomson que contribuiu para a elaboração de seu modelo para o átomo. É a evidência da existência dos elétrons.

A Figura 2.4 apresenta um tubo de raios catódicos em uma eventual deflexão do feixe por um campo elétrico e/ou magnético permitindo identificar-se o sinal da carga do feixe e a razão entre a massa e a carga. Thomson realizou experimentos com tubos de raios catódicos como o da figura. Entre outras constatações, verificou que colocando uma ventoinha no caminho do feixe ela girava comprovando que o feixe possuía massa e que conseqüentemente era uma partícula. Como o feixe era atraído por placas de carga positiva então os raios catódicos possuíam carga negativa. Além disto, a massa destas partículas era muito menor que a do átomo.

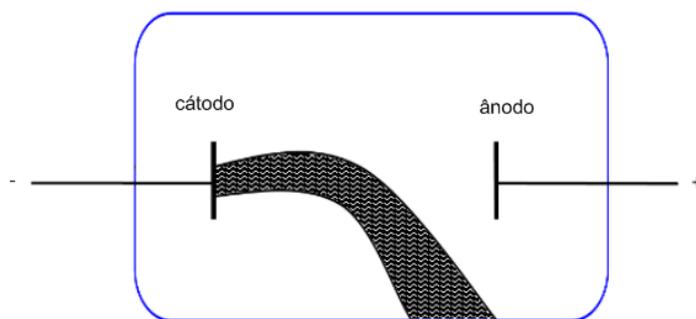


Figura 2.4: Tubo de raios catódicos com deflexão do feixe de elétrons devido um campo elétrico e/ou magnético.

Uma montagem experimental didática coloca como ânodo uma cruz de malta. Pode-se vislumbrar (com uma diferença de potencial, por exemplo, de 2000 V em um tubo de 40 cm) a sombra da cruz no vidro do tubo evacuado. Com um imã se visualiza a variação da posição da sombra de acordo com a variação do campo magnético.

Os tubos de raios catódicos atualmente ainda são utilizados em TVs e monitores de computadores. Pouco a pouco, estão sendo substituídos por telas de cristal líquido (LCD) e telas de plasma.

D.2.2.3 Modelo de J.J. Thomson para o átomo: o modelo do pudim de passas–1904

Neste modelo, o átomo teria elétrons carregados negativamente *incrustados* numa distribuição esférica e contínua de carga positiva com raio da ordem de 1 Angstrom (10^{-10} m). Devido à repulsão mútua, os elétrons estariam uniformemente distribuídos na esfera positiva.

Segundo Thomson, para um átomo no seu estado de menor energia possível, os elétrons estariam fixos em suas posições de equilíbrio. Em átomos excitados (átomos em material a alta temperatura, por exemplo) os elétrons vibrariam em torno de suas posições de equilíbrio. Como o eletromagnetismo clássico prevê que uma carga acelerada emite radiação, era possível entender qualitativamente a emissão de radiação por átomos excitados. Neste sentido, ela concordava com as previsões experimentais antes da realização do experimento.

A predição de a carga positiva estar igualmente espalhada por todo o átomo foi verificada inadequada em 1911 por Rutherford (ver seção D.2.2.4).

Na Figura 2.5 representamos o modelo do pudim de passas para o átomo de hidrogênio, com apenas um elétron. O elétron em seu estado de menor energia é igualmente atraído por toda carga positiva que está em volta e por isso tende a permanecer nesta posição.

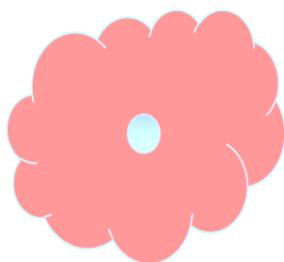


Figura 2.5: Modelo atômico de Thomson.

D.2.2.4 Experimento de Millikan – determinação da carga do elétron - 1909

Em 1906, Thomson recebeu o Prêmio Nobel por ter evidenciado a existência dos elétrons. Três anos mais tarde, Millikan, em um minucioso experimento de observação de gotas de óleo ionizadas negativamente e confinadas em um campo elétrico vertical, conseguiu realizar uma estimativa bem aproximada da carga dos elétrons. Ao aplicar na câmara um campo elétrico, as gotas ionizadas sofriam mudança em seu movimento dependente da orientação e da intensidade do campo. O peso das gotas, a força de viscosidade do meio e a força devido ao campo elétrico foram consideradas na arquitetura do experimento e na interpretação dos resultados.

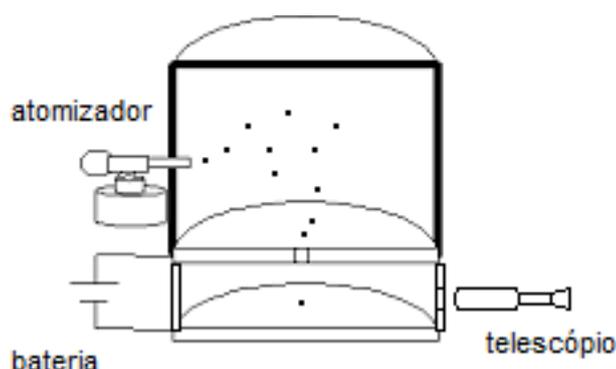


Figura 2.6: Esquema do arranjo experimental de Millikan para determinação da carga do elétron. Os pontos representam gotículas de água ou óleo eletricamente carregadas. [Fonte: Figura do experimento de Millikan. Disponível em: www.if.ufrgs.br/historia/millikan.gif. Acesso em: 27 out. 2014.]

A Figura 2.6 apresenta um esquema muito simplificado da engenhosa montagem experimental de Millikan²⁶. Inicialmente os experimentos utilizavam gotas de água que evaporavam facilmente. Mesmo assim, Millikan chegou ao resultado para a carga do elétron de $1,56 \times 10^{-19} \text{ C}$ com as gotículas de água e $1,59 \times 10^{-19} \text{ C}$ com as de óleo²⁷.

D.2.2.5 Modelo de Rutherford para o átomo - 1911

Para analisar o mundo atômico, o princípio mais utilizado é o de acelerar partículas carregadas fazendo-as colidir com alvos. (Isto é muito utilizado atualmente na Física Contemporânea para se conhecer mais a fundo as partículas elementares que compõem a matéria. Mas vamos nos concentrar na Física Moderna do primeiro quarto do século XX.) A análise das consequências dessas colisões pode então corroborar teorias, colocar teorias em cheque ou demonstrá-las como

²⁶ BETZ, M. E. M. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/quantCarg/aQuantCargAd_1.htm. Acesso em: 27 out. 2014. (Apresenta diagrama do experimento de Millikan publicado no artigo original, que dá uma idéia muito maior da complexidade do arranjo experimental.)

²⁷ SANTOS, C. A. dos. Disponível em: www.if.ufrgs.br/historia/millikan.html. Acesso em: 27 out. 2014.

problemáticas. Outras vezes, uma consequência inesperada pode ocasionar uma descoberta não prevista pela teoria.

O modelo de Rutherford se fundamenta no seguinte experimento (Figura 2.7): Uma fonte radioativa emite partículas alfa que são colimadas em direção a uma folha metálica fina. As partículas são espalhadas em diversos ângulos. Uma tela de sulfato de zinco brilha cada vez que as partículas alfa nela incidem. Verifica-se que, até mesmo em um ângulo de 180° (retroespalhamento), o número de partículas detectadas não é nulo. Conclui-se que o núcleo é muito pequeno em comparação com o tamanho do átomo e que sua carga é positiva.

O modelo atômico de Rutherford faz uma analogia com o sistema solar. No centro, um núcleo positivo *fazendo o papel* do Sol. Em torno dele estariam os elétrons (cargas negativas) como os planetas que orbitam em volta do Sol. A analogia se completa quando a força gravitacional do sistema solar é substituída pela força eletromagnética entre os elétrons e o núcleo.

Este é um aspecto do modelo de Rutherford que conduziu à não aceitação do mesmo por sua incoerência com o eletromagnetismo clássico. O átomo iria colapsar imediatamente porque cargas que realizam movimentos circulares têm aceleração centrípeta. E cargas aceleradas devem, segundo o eletromagnetismo clássico, emitir radiação e perder energia.

O arranjo experimental do experimento de Rutherford pode ser visualizado na Figura 2.7.

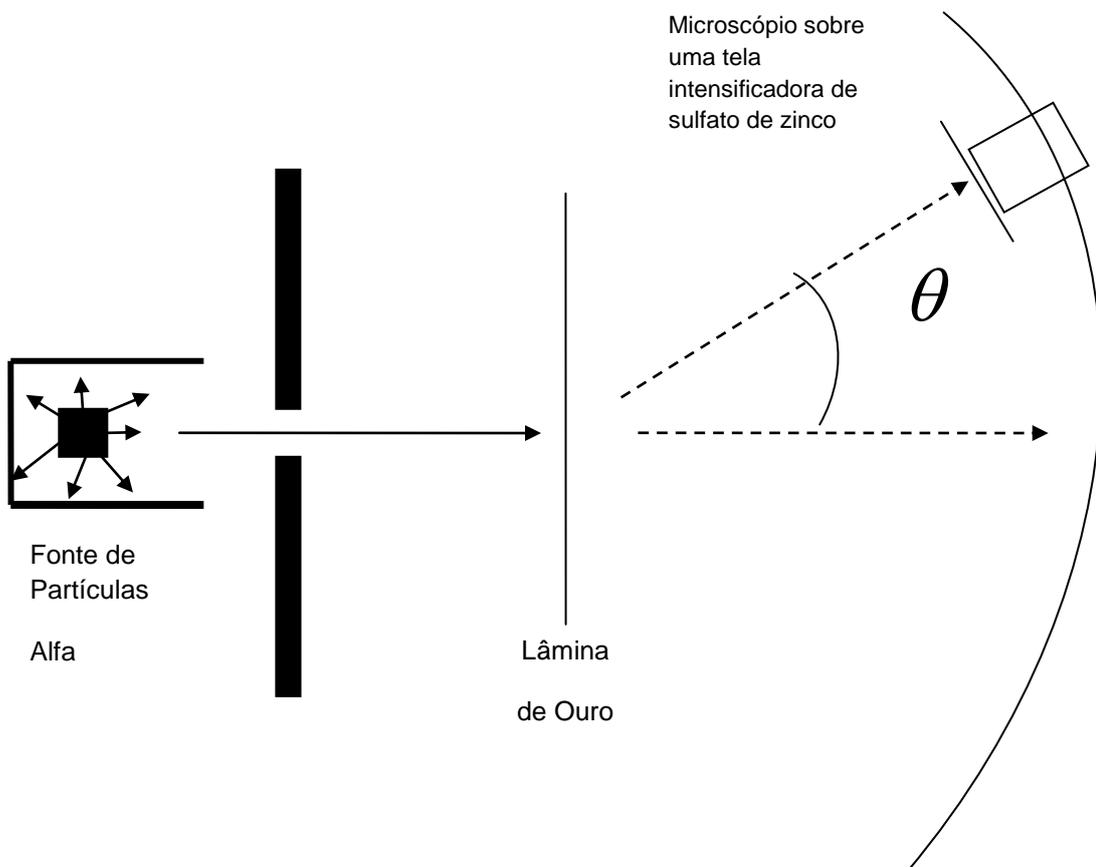


Figura 2.7: Arranjo experimental do experimento de Rutherford.

D.2.2.6 Modelo atômico de Bohr - 1913

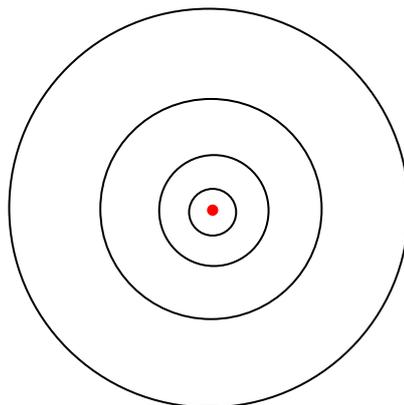


Figura 2.8: Representação possível tanto para o átomo de Rutherford, quanto para o átomo de Bohr.

O modelo atômico de Bohr é expresso através de alguns postulados cuja análise mais aprofundada faremos mais adiante. De forma simplificada, o modelo consiste em um núcleo atômico positivo com elétrons orbitando em seu redor. A força resultante em cada elétron é centrípeta e é igual à força de atração colombiana com o núcleo. Os elétrons só podem existir em determinadas órbitas circulares onde seus momentos angulares são múltiplos inteiros de $h/2\pi$ (sendo h a constante de Planck) e suas energias são constantes enquanto permanecem em algum orbital. Só há emissão ou absorção de energia quando o elétron troca de orbital; a emissão ou absorção se dá através de fótons de energia igual a diferença de energia entre os orbitais. A frequência de cada fóton é igual a esta diferença de energia dividida pela constante de Planck.

Já vimos que o átomo de Rutherford não poderia ser concebido de acordo com o eletromagnetismo clássico. O mesmo acontece com o átomo de Bohr onde elétrons orbitam em torno do núcleo (e, portanto, estão constantemente acelerados) mas só irradiam e emitem energia quando trocam de orbital.

O modelo atômico de Bohr também é *inconciliável* com a mecânica clássica. O fato de elétrons só poderem se encontrar em determinadas órbitas não tem previsão nas Leis de Newton.

Através de postulados, Bohr idealizou um modelo híbrido mesclando aspectos clássicos com condições onde a mesma Física Clássica não poderia ser utilizada e inserindo a condição de quantização do momento angular (e, em decorrência, da energia). Iniciamos agora um aprofundamento sobre os postulados de Bohr contrapondo aspectos históricos com uma transposição didática recorrente nos livros didáticos de Física Geral.

D.2.2.6.1 Postulados de Bohr

Abaixo segue o texto do próprio Bohr segundo Lakatos sobre os 5 postulados. Este texto está disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n4/a06v27n4.pdf> (Bohr *apud* Peduzzi, 2005):

Cinco postulados constituem o núcleo duro²⁸ de seu programa de pesquisa. No último dos três artigos publicados no *Philosophical Magazine*, em 1913, e reunidos no livro *Sobre a Constituição de Átomos e Moléculas* [Bohr, 1989], Bohr destaca, em síntese conclusiva: Nesta memória fez-se uma tentativa de desenvolvimento de uma teoria da constituição dos átomos e moléculas baseada nas idéias introduzidas por Planck para explicar a radiação do corpo negro e na teoria da estrutura dos átomos proposta por Rutherford para explicar a dispersão das partículas α pela matéria. A teoria de Planck trata da emissão e absorção da radiação de um oscilador harmônico... sendo incoerente com a teoria de Rutherford... Para se aplicarem os principais resultados obtidos por Planck é, portanto, necessário introduzir novas hipóteses sobre a emissão e absorção de radiação por um sistema atômico. As principais hipóteses utilizadas são:

1. Que a energia radiada não é emitida (ou absorvida) da maneira contínua admitida pela eletrodinâmica clássica, mas apenas durante a passagem dos sistemas de um estado 'estacionário' para outro diferente.
2. Que o equilíbrio dinâmico dos sistemas nos estados estacionários é governado pelas leis da mecânica clássica, não se verificando estas leis nas transições dos sistemas entre diferentes estados estacionários.
3. Que é homogênea a radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário para outro, e que a relação entre a frequência ν e a quantidade total de energia emitida é dada por $E = h\nu$, sendo h a constante de Planck.
4. Que os diferentes estados estacionários de um sistema constituído por um elétron que roda em volta de um núcleo positivo são determinados pela condição de ser igual a um múltiplo inteiro $h/2\pi$.
5. Que o estado 'permanente' de um sistema atômico - isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima - é determinado pela condição de ser igual a $h/2\pi$ o momento angular de cada elétron em torno do centro de sua órbita.

Comentários:

No parágrafo anterior aos postulados, Bohr indica que sua teoria vai buscar atender a estabilidade do átomo, mas que para tanto a teoria de Planck da absorção e emissão de energia deveria ser modificada no tratamento de sistemas atômicos. Vai utilizar a quantização da energia mas de forma diferenciada.

Os postulados 1 e 2 buscam estabelecer condições para a estabilidade do átomo delimitando que a Física Clássica valeria somente para as órbitas possíveis e não para as transições entre elas. O postulado 3 introduz a quantização de energia de Planck. No postulado 4, inicia-se a descrição das condições das órbitas possíveis, embora não esteja explícita que grandeza deveria ser múltipla de $h/2\pi$. Isto é feito no Postulado 5. No átomo de Bohr é a quantização do momento angular (e não da energia) que regula as órbitas possíveis. A quantização da energia é decorrência.

Estes cinco postulados ou hipóteses do núcleo duro da teoria de Bohr sofreram transposições didáticas nos textos de livros didáticos que surgiram. Vejamos, como exemplo bem representativo (dos anos 70 para cá) de como os postulados de Bohr são apresentados:

1 – Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da Mecânica Clássica.

²⁸Núcleo duro é uma terminologia da epistemologia de Imre Lakatos. Para Lakatos, um programa de pesquisa possui hipóteses ou leis inatacáveis. Estas constituem seu *núcleo duro* ou *núcleo firme*. Muitas pesquisas devem ser realizadas sem se atacar o núcleo firme. Ele é protegido da refutação por um *cinturão protetor* (pelo menos temporariamente) para que o programa de pesquisa possa se desenvolver.

2 – *Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a Mecânica Clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de $h/2\pi$.*

3 – *Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total E permanece constante.*

4 – *É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida f é igual a quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pela constante de Planck h .*

(Trecho em itálico retirado de Eisberg; Resnick, 1986, p. 138)

Comentários:

Identificamos que as 5 hipóteses iniciais foram transformadas em 4 postulados. Certamente os 4 postulados descritos por Eisberg e Resnick (1986) são mais sintéticos e pragmáticos.

O postulados 1 e 3 apresentados por Eisberg e Resnick (1986) relacionam-se com as duas primeiras hipóteses de Bohr. O equilíbrio dinâmico ou a estabilidade do átomo apresenta aspectos clássicos e não clássicos. Não clássicos porque mesmo acelerado o elétron não emite radiação. Clássico, ao atender força colombiana entre núcleo e elétron. Para Bohr processos de emissão de energia que não podem ser expressos de acordo com a Física Clássica.

O postulado 2 apresentado por Eisberg e Resnick (1986) relaciona-se com as duas últimas hipóteses de Bohr. Referem-se às órbitas possíveis para o elétron, aquelas em que o momento angular é um múltiplo inteiro da quantidade $h/2\pi$.

Já o postulado 4 apresentado por Eisberg e Resnick (1986) relaciona-se com a hipótese 3 de Bohr. Mas não está claro na hipótese de Bohr que a energia emitida é igual a diferença de energia entre os níveis atômicos.

Os mesmos postulados também podem ser assim interpretados:

- 1 Existência de um núcleo positivo com elétrons orbitando ao seu redor como no átomo de Rutherford.
- 2 Quantização do momento angular: Os elétrons só podem ocupar órbitas cujo momento angular seja um múltiplo inteiro de $h/2\pi$.
- 3 Embora acelerados, os elétrons não emitem radiação como previa o eletromagnetismo clássico. O eletromagnetismo clássico não serve para explicar o mundo atômico já que os átomos são estáveis.
- 4 Quando elétrons *saltam* de um orbital mais externo para um mais interno, emitem radiação cuja frequência é igual a diferença de energia entre os níveis atômicos dividido pela constante de Planck. Este postulado está de acordo com a conclusão de Einstein sobre o efeito fotoelétrico de que a frequência de um fóton é o quociente entre a energia por ele *carregada* e a constante de Planck.

É muito comum nos livros didáticos a versão de que Bohr procurava reproduzir em seu modelo os resultados experimentais dos espectroscopistas da época. Há controvérsias históricas e epistemológicas a este respeito:

a teoria do átomo de Bohr, contrariamente à história empirista, não começou com um problema empírico, mas com um problema teórico, qual seja, dar sustentação à hipótese de Rutherford do átomo com núcleo. A teoria de Bohr teve como consequência não-intencionada a explicação dos espectros de emissão do hidrogênio! Além disso, adiantou-se em relação à empiria, prevendo novas séries espectrais.

(trecho do artigo “Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história”, Silveira; Peduzzi, 2006, p. 46 e 47)

Portanto, embora a maioria dos livros didáticos externe a concepção empirista de que Bohr procurava reproduzir em seu modelo os dados espectrais dos espectroscopistas, nos parece que a única evidência experimental que Bohr procurava descrever em seu modelo era a existência de um núcleo positivo em uma região muito pequena em comparação com o tamanho do átomo, percebida através do experimento de Rutherford e o reconhecimento de que os átomos são estáveis. Neste sentido, o modelo de Bohr respeitou alguns aspectos do modelo de Rutherford. O postulado 1 reconhece a existência de um núcleo positivo com elétrons orbitando ao seu redor como no modelo planetário (ou solar) do átomo de Rutherford. Além disto, tanto para o átomo de Rutherford quanto para o 3º postulado de Bohr os átomos são estáveis mesmo com cargas aceleradas. A diferença neste aspecto é que Rutherford não formalizou postulado que explicitasse que o eletromagnetismo clássico não pode ser utilizado em sua íntegra no mundo atômico.

De qualquer forma, o modelo de Bohr não pode ser considerado aceitável do ponto de vista da Física Clássica nem da Física Quântica que viria surgir na década de 20 do século XX. Trata-se de um modelo híbrido que mistura a Física Clássica com pressupostos quânticos (pelo menos em seu estado embrionário) incompatíveis com a mesma Física Clássica. O elétron se move em órbitas circulares obedecendo a mecânica clássica com quantização (e, portanto, em desacordo com a física clássica) do momento angular. Supõe-se que o elétron obedeça a lei de Coulomb (argumento clássico), e, no entanto, não obedeça a previsão clássica de emissão de radiação por uma carga acelerada. A teoria de Bohr teve como consequência a explicação dos espectros de emissão de átomos com um elétron apenas (hidrogênio e hélio ionizado) e, além disto, previu novas séries espectrais que mais tarde foram identificadas. Como limitação do modelo de Bohr, verifica-se que não é bem sucedido na explicação dos espectros de emissão de átomos com mais de um elétron.

D.2.2.6.2 Princípio da Complementaridade de Bohr

Os fenômenos quânticos exibem propriedades complementares (mutuamente exclusivas) – revelando-se como partículas ou como ondas – dependendo do tipo de experimento que esteja sendo realizado: experimentos projetados para examinar trocas individuais de energia e de momentum expõem propriedades corpusculares, ao passo que os experimentos projetados para examinar a distribuição espacial da energia expõem as propriedades ondulatórias. Estas propriedades complementam-se sendo ambas necessárias para a compreensão da “luz”.

Bohr também estabeleceu um princípio denominado de *princípio da correspondência* fundamental para a aceitação de uma nova Mecânica. Da mesma forma que a Mecânica Newtoniana é uma aproximação da Mecânica Relativística para velocidades muito menores que a da luz, a Física Clássica também é uma aproximação da Física Quântica para *números quânticos* muito grandes. O princípio de correspondência foi muito importante para a aceitação da nova Mecânica Quântica porque não invalidou a Mecânica Clássica na sua área de abrangência. (Visto que a grande maioria dos cientistas da época eram adeptos do paradigma newtoniano clássico a elaboração de um princípio de correspondência deve ter diminuído a sua rejeição.)

D.2.2.7 Modelo de Bohr-Sommerfeld - 1916

Sommerfeld aperfeiçoou o modelo de Bohr introduzindo subníveis de energia em cada orbital. Além de uma órbita circular por orbital, Sommerfeld também propõe órbitas elípticas possíveis para os demais subníveis. O modelo de Sommerfeld também não é aceitável do ponto de vista da Física Clássica. A quantização dos níveis e subníveis de energia não apresenta coerência com a Física Clássica. Além disto, também introduziu correções relativísticas. Portanto, aspectos quânticos e relativísticos de seu modelo não são aceitáveis do ponto de vista da Física Clássica.

D.2.2.8 Comprimento de onda de de Broglie, comportamento ondulatório de elétrons e átomos e um átomo inspirado na Física Ondulatória – 1924

De Broglie, em 1924, estendeu a dualidade onda-partícula proposta por Einstein para a luz ao caso das partículas subatômicas, como os elétrons. Calculou um comprimento de onda que podia ser associado às partículas, propondo a expressão: $\lambda = h/p$ sendo $p = mv$ o momentum linear. Três anos depois foram reconhecidos padrões de difração em fotografias do espalhamento de elétrons em cristais (experimento de Davisson e Germer). (George Thomson (filho de J.J. Thomsom) dividiu com Clinton Joseph Davisson o prêmio Nobel de 1937 por demonstrarem que os elétrons podem difratar como ondas, atendendo ao princípio da dualidade onda-partícula proposto por de Broglie. É curioso que, enquanto J.J. Thomsom evidenciou a existência do elétron e seu caráter corpuscular, seu filho G. P. Thomson participou ativamente da constatação de seu caráter ondulatório.) Os microscópios eletrônicos utilizam-se do caráter ondulatório dos elétrons para *visualização* de estruturas que não podem ser observadas por interação com luz visível.

D.2.2.9 Atividades

D.2.2.9.1 Atividade Experimental: Observação e cálculo dos comprimentos de onda das raias espectrais do mercúrio

Material utilizado: Lâmpada de mercúrio cilíndrica e específica para este fim (sem revestimento com pó fluorescente e com filtro UV) colocada na vertical, trena, rede de difração e haste metálica.

Montagem e procedimento experimental: O observador deve se posicionar frente à lâmpada com a rede de difração na altura de um dos olhos de modo a observar as raias espectrais do mercúrio. Este deverá orientar um colega para que coloque a haste metálica na posição em que o observador encherá determinada raia (Figura 2.9).

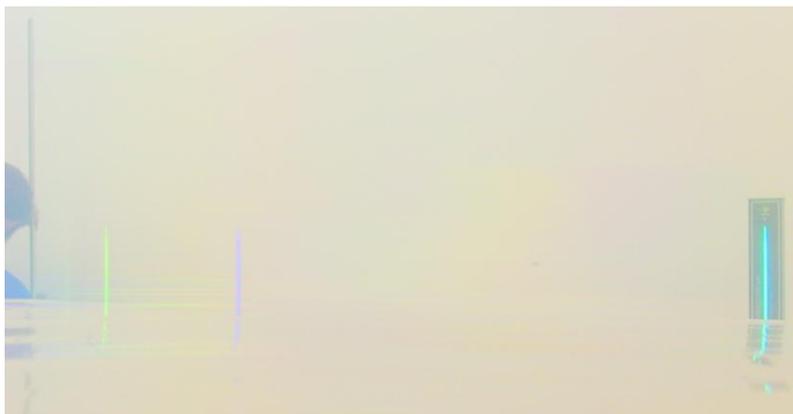


Figura 2.9: Visualização das raias espectrais do mercúrio.

Cada grupo deverá, a partir dos dados da constante da rede de difração, da distância da rede de difração com a lâmpada de mercúrio e da distância da lâmpada de mercúrio à específica raia observada calcular o comprimento de onda correspondente. Abaixo, o espaço para o cálculo do comprimento de onda da raia escolhida pelo grupo.

D.2.2.9.2 Explorando o *applet Espalhamento de Rutherford*

Acesse a simulação *Espalhamento de Rutherford* desenvolvido por PHET-Colorado, disponível em http://phet.colorado.edu/sims/rutherford-scattering/rutherford-scattering_pt.jnlp.

Ela trata sobre o que deveria ocorrer quando átomos de uma lâmina de ouro (elemento *default*) são bombardeados por partículas alfa de acordo com dois modelos diferentes, o *Pudim de Passas de Thomson* e o *Sistema Planetário de Rutherford*.

a) Descreva os dois modelos atômicos deste aplicativo

Pudim de Passas:

Modelo Planetário de Rutherford:

b) Descreva o comportamento das partículas alfa na interação com o átomo de acordo com:

Pudim de Passas:

Modelo Planetário de Rutherford:

D.2.2.9.3 Explorando o *applet*: *Teoria de Bohr do Átomo de Hidrogênio*

Acesse o *applet*: Teoria de Bohr do Átomo de Hidrogênio desenvolvido por Walter Fendt disponível em: http://www.walter-fendt.de/ph14pt/bohrh_pt.htm e descreva todas as informações apresentadas, interpretando-as.

2.9.4 Explorando o *applet* *Modelos do átomo de hidrogênio*

Acesse a simulação: *Modelos do átomo de hidrogênio*, disponível em:
http://phet.colorado.edu/sims/hydrogen-atom/hydrogen-atom_pt.jnlp.

Neste aplicativo luz incidente de diferentes comprimentos de onda (luz branca) ou luz de comprimento de onda escolhido pelo usuário incide no átomo de hidrogênio. É simulado o que ocorre e o que cada modelo prevê. Descreva e tente explicar o que os modelos abaixo prevêem:

Bola de Bilhar de Dalton

Pudim de Ameixas

Sistema Solar Clássico

Bohr

De Broglie

D.2.2.10 Referências

BOHR, N. *Sobre a constituição de átomos e moléculas*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1989.

EISBERG, R.; RESNICK, R. *Física quântica*. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1986.

PEDUZZI, L. O. Q.; BASSO, A. C. Para o ensino do átomo de Bohr no nível médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.27, n.4, , Out./Dez.2005. (Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-47442005000400006&script=sci_arttext. Acesso em: 27 out. 2014.)

SILVEIRA, F. L.; PEDUZZI, L. O. Q. Três episódios de descoberta científica: da caricatura empirista a uma outra história. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 1: p. 26-52, abr. 2006. (Disponível em <http://www.periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6289/5822>. Acesso: 27 out. 2014.)

Espalhamento de Rutherford por PHET-Colorado. Disponível em: http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Rutherford_Scattering. Acesso em: 27 out. 2014.

Luzes de Néon e outras lâmpadas de descarga. Disponível em: http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Neon_Lights_and_Other_Discharge_Lamps. Acesso em: 27 out. 2014.

Modelos do átomo de hidrogênio. Disponível em:
http://phet.colorado.edu/new/simulations/sims.php?sim=Models_of_the_Hydrogen_Atom. Acesso em:
27 out. 2014.

Teoria de Bohr do átomo de hidrogênio do Fendt. Disponível em: http://www.walter-fendt.de/ph14pt/bohrh_pt.htm. Acesso em: 27 out. 2014.

D.3. UNIDADE 3 – LUZ E CORES

Objetivo: Aprofundamento sobre do estudo sobre as interações da radiação com a matéria a partir de fenômenos que são percebidos pelos nossos olhos confrontando com outras interações cujos efeitos esses *sensores eletromagnéticos* não percebem.

Quando se fala sobre cores deve-se observar que este assunto não se limita à Física. Aspectos fisiológicos (físico-químico-biológicos) e psicológicos são importantes para a compreensão de nossas percepções.

D.3.1 História

Vários expoentes da Física contribuíram para a evolução das concepções acerca das cores: Newton em 1671 publicou o trabalho *New theory about light and colour*. A partir da decomposição da luz com um prisma, da recomposição com um segundo prisma e da decomposição sucessiva da luz solar Newton associou a refração com cor e observou que o branco é uma mistura de cores (também concluiu erroneamente que o branco não pode ser obtido com apenas duas cores).

Em 1802, Young publicou o trabalho *On the theory of light and colours*:

As it almost impossible to conceive each sensitive point of the retina to contain an infinite number of particles, each capable of vibrating in perfect unison with every possible undulation, it becomes necessary to suppose the num limited, for instance to the three principal colors, red, yellow, and blue, and that each of the particles is capable of being put in motion more or less forcibly by undulations differing less or more from perfect unison. Each sensitive filament of the nerve may consist of three portions, one for each principal color.

Que traduzido pode ser escrito:

Como é quase impossível conceber que cada ponto sensível da retina possua um número infinito de partículas, cada uma capaz de vibrar em uníssono com cada ondulação possível, torna-se necessário supor que o número limita-se, por exemplo, as três cores principais, vermelho, amarelo e azul, e que cada uma das partículas é capaz de ser colocada em movimento maior ou menor forçosamente por graduações das ondulações. Cada filamento sensor do nervo pode ser constituído de três partes, uma para cada cor principal.

Verifica-se que Young incluía o amarelo como cor primária no lugar do verde.

Em 1866, Helmholtz em seu livro *Physiological Optics* desenvolveu e divulgou a teoria de Young formando o que hoje se chama de teoria tricromática de Young e Helmholtz. Trecho deste livro constitui a Figura 3.1:

1. The eye is provided with three distinct sets of nervous fibres. Stimulation of the first excites the sensation of red, stimulation of the second the sensation of green, and stimulation of the third the sensation of violet.

2. Objective homogeneous light excites these three kinds of fibres in various degrees, depending on its wave-length. The red-sensitive fibres are stimulated most by light of longest wave-length, and the violet-sensitive fibres by light of shortest wave-length. But this does not mean that each colour of the spectrum does not stimulate all three kinds of fibres, some feebly and others strongly; on the contrary, in order to explain a series of phenomena, it is necessary to

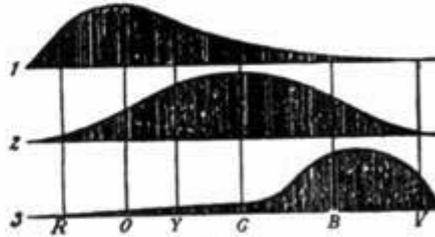


Fig. 21.

assume that that is exactly what does happen. Suppose that the colours of the spectrum are plotted horizontally in Fig. 21 in their natural sequence, from red to violet, the three curves may be taken to indicate something like the degree of excitation of the three kinds of fibres, No. 1 for the red-sensitive fibres, No. 2 for the green-sensitive fibres, and No. 3 for the violet-sensitive fibres.

Figura 3.1: Trecho do livro de Helmholtz (*Physiological Optics*) descrevendo a teoria de Young e formando a chamada teoria tricromática de Young e Helmholtz.

Este trecho pode ser traduzido como:

1. O olho é composto de três distintos conjuntos de fibras nervosas. A estimulação do primeiro conjunto excita a sensação de vermelho, a excitação do segundo, a sensação de verde, e a do terceiro, a sensação do violeta.
2. Determinada luz homogênea excita estes três tipos de fibras em vários graus, dependendo de seu comprimento de onda. As fibras sensíveis ao vermelho são estimuladas mais pela luz de maiores comprimentos de onda e as fibras sensíveis ao violeta mais pelas luzes de menor comprimento de onda. Mas isto não significa que cada cor do espectro não seja estimulada por todos os tipos de fibras, alguns de forma suave outros fortemente; por outro lado para se explicar uma série de fenômenos, é necessário assumir que é exatamente assim que isto acontece. Suponha que as cores do espectro são representadas em um gráfico horizontalmente [na Figura 21] em sua sequência natural, do vermelho ao violeta, as três curvas podem ser tomadas para indicar algo parecido com os graus de excitação dos três tipos de fibras, N°1 para as fibras sensíveis ao vermelho, N° 2 para as fibras sensíveis ao verde e N°3 para as fibras sensíveis ao violeta.

Vê-se que Helmholtz partiu da teoria de Young, corrigindo-a e a aprimorando.

Como aplicação direta da teoria tricromática de Helmholtz e Young tem-se hoje em dia os monitores de vídeo e projetores *data-show* que utilizam o sistema RGB (R - red, vermelho; G - Green, verde; B - blue, azul).

Tem-se 256 ($2^8 = 256$, uma série de 8 bits que forma 1 bytes) intensidades distintas de cada cor primária (0 até 255 unidades de intensidade) em uma tela de computador ou TV. A combinação destas diferentes intensidades de cores primárias gera as cores da tela.

Qualquer editor, assim como o usado para escrever este texto, inclui estas possibilidades de intensidades de cores.

O psicólogo alemão Edward Hering defendeu um tratamento “sensorial” ou psicológico do tema em oposição a uma explicação puramente física (na mesma linha de Goethe, o poeta alemão e outros (Sandoval; Sandoval, 1990).

A teoria das cores oponentes de Hering é baseada em três pares de cores elementares: O vermelho/verde, o azul/amarelo e o branco/preto. Hering teria baseado sua teoria na constatação perceptiva de que não existe um amarelo-azulado nem um vermelho esverdeado ou um branco enegrecido, cinzento. São pares de cores oponentes ou opostas. Além disto, também explica o fenômeno da pós-imagem. É o que se vê após olhar para o Sol e fechar os olhos, por exemplo. Abrindo os olhos novamente continua-se a perceber a pós-imagem para qualquer lugar que se olhe. O claro aparece escuro e vice-versa. A imagem de uma fonte vermelha pode na pós-imagem mudar para verde-azul, laranja para o azul, o amarelo ao violeta, verde para roxo e vice-versa (Minnaert, 1954). É a fadiga da imagem. O sensor (cone ou bastonete) que havia sido sensibilizado fortemente, agora subtrai a cor anterior e a sensação predominante é de sua cor complementar ou oposta.

A teoria tricromática de Helmholtz e Young não explica o fenômeno da pós-imagem.

No final do século XIX, Von Kries apresentou uma teoria que relacionava as teorias de Helmholtz e de Hering (Sandoval; Sandoval, 1990). Em 1920 foi publicado o trabalho de Schrodinger *Outline of a theory of color measurement for daylight vision*, que demonstrou a relação matemática entre as teorias de Helmholtz (e Young) e a de Hering (Sandoval; Sandoval, 1990).

Até aqui se tratou exclusivamente da cor como resultado da soma de luzes, em um processo aditivo (exceção seja feita à pós-imagem) onde as fontes são luminosas. Mas a cor que se percebe da maioria dos objetos provém de fontes iluminadas (sem luz própria). É um processo subtrativo. Nossas sensações de cores de sólidos e líquidos envolvem processos de absorção e reemissão de radiação eletromagnética.

Em sólidos, pode-se pensar inicialmente num processo de absorção e reflexão da luz incidente. Um corpo pode parecer vermelho porque absorve muito mais radiação nas frequências das demais cores, refletindo predominantemente na faixa do vermelho. Pode-se fazer uma aproximação mais aprofundada. Tanto o núcleo atômico quanto os elétrons possuem frequências naturais de oscilação específicas. Como o núcleo é muito mais massivo, sua frequência natural de oscilação é muito menor que dos elétrons, fora da faixa de interação com a luz (visível). A cor que se vê é o resultado, portanto, da vibração dos elétrons. O material vermelho reflete na faixa do vermelho justamente por não apresentar frequência natural de oscilação na faixa do vermelho. A oscilação forçada dos elétrons que compõem o material é ressonante para todas as frequências da faixa do visível, menos para o vermelho. Justamente pelo material não apresentar identidade com o vermelho, é que ele aparenta esta cor. Os elétrons que passam a vibrar em frequência ressonante acabam colidindo com outros elétrons (inclusive de outros átomos) e a radiação é absorvida aumentando a energia interna do material. Já os elétrons que passaram a vibrar em frequência diferente da natural de oscilação acabam reemitindo a radiação incidente, o que equivale a dizer que ocorreu reflexão.

O sistema CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) é o sistema subtrativo utilizado nas impressoras onde as cores primárias são o Ciano, a Magenta, o Amarelo e o Preto. Misturando os pigmentos Ciano, o Magenta e o Amarelo formamos o Preto.

D.3.2 Atividades

D.3.2.1 Coloração por adição

Acesse o aplicativo *Color Vision* (Percepção de Cor ou Visão de Cor nas versões em português) disponível em: <http://phet.colorado.edu/en/simulation/color-vision> onde se pode rodar (*run now*) ou baixar (*download*) a versão em português na seção de versões traduzidas (*translated versions*) na parte inferior da página. Procure utilizar o aplicativo do *PHET Colorado* e no próprio editor de texto ou de imagem de seu computador construir:

- 1) o branco a partir dos máximos de azul, verde e vermelho.
- 2) o preto a partir de nenhuma luz.
- 3) as cores secundárias (amarelo, magenta e ciano).
- 4) o violeta, roxo ou púrpura e lilás (após tentar, procure na *Wikipédia* as unidades de intensidade correspondentes ao vermelho (R), ao verde (G) e ao azul (B) e tente usar as barras móveis (cursors) chegar a estas cores lembrando que as unidades de intensidade no sistema RGB (do editor de texto ou de imagem) são numeradas de 0 até 255). Faça o mesmo para as cores abaixo:
- 5) Azul claro (quase um ciano com um pouco menos de verde?) e azul escuro (só azul com menor intensidade).
- 6) Verde claro e verde escuro.
- 7) Amarelo e laranja. Tente também o creme, o ocre e o bege.
- 8) O vermelho claro e o vermelho escuro.
- 9) O bordô e o marrom.
- 10) O rosa e o salmão.
- 11) O cinza.
- 12) Exemplo resolvido do marrom.

A Tabela 3.1 (próxima página) apresenta os tons de marrom segundo a *Wikipédia*. Na Figura 3.2 são mostrados os tons de marrom na ordem marrom, marrom claro e marrom escuro, correspondentes a:



Figura 3.2: Mostra os três tons de marrom com as intensidades da Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Mostra um exemplo resolvido para alguns tons da cor marrom.

Tons de marrom	Máximo de 255 unidades de intensidade [u.i.]			% do máximo		
	R	G	B	R	G	B
Wikipédia Marrom	150	75	0	59	29	0
Wikipédia marrom. claro	152	118	84	60	46	33
Wikipédia marrom escuro	101	67	33	40	26	13

D.3.2.2 Coloração por subtração

Com pigmentos, usando tinta de tecido ou cartucho de tinta de impressora nas cores primárias ciano, amarelo e magenta procure reproduzir as seguintes cores:

- 1) Azul: ciano C(100) + magenta M(100).
- 2) Vermelho: magenta M(100) + amarelo Y(100).
- 3) Verde: ciano C(100) + amarelo Y(100).
- 4) Violeta: a uma grande quantidade de Magenta M(100) ir acrescentando Ciano aos poucos C(44).
- 5) Laranja (para uma quantidade de amarelo (100 Y) acrescente a metade de magenta (50 M).
- 6) Para os tons escuros acrescente preto (K).

E as tintas têmperas guache? Como são vendidas no comércio não usam a lógica do sistema CMYK, mas é possível a partir das cores popularmente mais conhecidas (vermelho, amarelo e azul e branco) produzir outras cores. E ainda, com o auxílio do preto, não é preciso gastar tanto de vermelho, amarelo e azul. Hoje são comuns jogos de 6 cores: vermelho, verde, azul, amarelo, branco e preto. Com as combinações destas 6 cores pode-se obter:

Amarelo + azul = verde.

Vermelho + amarelo = laranja.

Vermelho + azul = violeta.

Vermelho + verde = marrom.

Vermelho + branco = rosa.

Preto + branco = cinza.

D.3.2.3 Sombras Coloridas

Acesse a apresentação *Sombras Coloridas: uma bela aplicação da teoria de Helmholtz e Young* do professor Fernando Lang da Silveira, disponível em vídeo em

<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=videos> (acesso em 17 de abril de 2013). Observe o *slide* 16 desta apresentação (apresentado no vídeo no intervalo de execução de 38min34s a 39min).



Figura 3.3: À esquerda, a sombra do fotógrafo, à direita, uma camisa colocada sobre a grama e sob a sombra do fotógrafo.

Conforme mostrado na Figura 3.2, na foto da esquerda vê-se a sombra do fotógrafo e na da direita, uma camisa sobre a grama e sob a sombra do fotógrafo. Qual é a cor da camisa do fotógrafo quando iluminada somente por luz branca?

Você deve apresentar suas hipóteses sobre as cores da camisa conforme a teoria de Young e Helmholtz.

Um amarelo forte pode ser: R255 G255 B000.

Um laranja como o da foto pode ser: R255 G175 B000.

Em outras palavras, pode-se tirar um tanto de verde do amarelo para se obter o laranja ou acrescentando verde ao laranja obter o amarelo. E as fotos? Repetindo, qual seria a cor da camisa quando exposta exclusivamente à luz branca?

Quem consegue um equacionamento mais aproximado das cores que se vê na foto?

Considerando-se uma equação com base no R, G e B:

No Sol: $(R255\ G185\ B0) + (R0\ G70\ B0) = R255\ G255\ B0$

Laranja intenso + um tanto de verde = Amarelo intenso.

Na sombra: $0,85 * (R255\ G185\ B0)$

Laranja escuro.

Alguém sugere um equacionamento mais aproximado para explicar as cores da foto?

D.3.2.4 Observando pós-imagens

Fique olhando para a Figura 3.4 por aproximadamente 20 segundos e a seguir olhe para uma tela branca permanecendo nela por 10 segundos. Descreva as sucessões de cores percebidas na tela branca (pós- imagem). Repita estas etapas para a Figura 3.5.

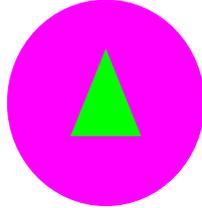


Figura 3.4: Para observar pós-imagem.

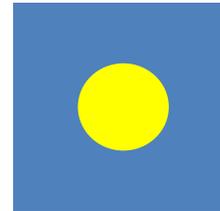


Figura 3.5: Para observar pós-imagem.

Nas Figuras 3.6 e 3.7 podem ser verificados aspectos psicológicos das percepções de tonalidades.

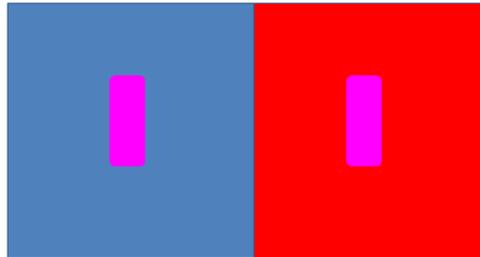


Figura 3.6: Os retângulos na cor magenta acima possuem a mesma tonalidade?

Na Figura 3.6 o retângulo interno magenta da esquerda parece mais avermelhado que o da direita, que por sua vez parece mais azulado. Mas o magenta dos dois retângulos é produzido com as mesmas intensidades RGB.



Figura 3.7: Há zonas mais escuras nesta imagem?

Já na Figura 3.7, tanto o verde como o vermelho que estão mais próximos do retângulo branco nos parecem mais escuros, assim como mais escuro fica se olharmos para o retângulo branco central e depois para o verde/vermelho.

D.3.2.5 Atividade experimental: extrapolando o experimento da fenda dupla de Young para luz policromática incidindo em rede de difração

Múltiplas fendas, ao invés de duas, podem reforçar sobremaneira os máximos de interferência de determinados comprimentos de onda (frequências, cores). Assim, o experimento de Young é alterado tanto pela incidência de luz policromática quanto por serem forçadas as interações desta com fendas múltiplas (rede de difração) ao invés de fendas duplas.

Cada grupo deverá calcular a partir dos dados de distância da rede de difração até o anteparo e do máximo para a cor escolhida pelo grupo (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, anil, azul, violeta) o comprimento de onda correspondente. Abaixo o espaço para o cálculo do comprimento de onda da cor escolhida pelo grupo.

D.3.3 Abordagens clássicas aproximadas às noções quânticas dos processos de absorção e reemissão da radiação eletromagnética pela matéria

Diversas são as formas de interação da radiação com a matéria e o que se pode perceber em decorrências delas.

O nosso planeta é imerso em ondas eletromagnéticas. A maior parte da radiação incidente na Terra é emitida pelo Sol. Decorrente dessas interações se percebe o calor irradiado por uma pedra exposta ao Sol forte, o arco-íris, o azul do céu, o laranja avermelhado do por do sol, as nuvens brancas e as cinzas, as cores do mar, etc. Raios cósmicos nos atravessam, radiação UV incide em nossa pele. Em medicina nuclear ingere-se radiofármacos e em exames de radiologia médica, tomografia e mamografia somos expostos aos raios X. Em todos estes exemplos há interação da radiação com a matéria. Algumas dessas interações serão abordadas de forma mais detalhada:

A reemissão da radiação solar absorvida na superfície da Terra se dá em comprimentos de onda maiores do que os incidentes. Isto ocorre pela diferença de temperatura entre o Sol e a Terra. Como a temperatura da superfície terrestre é muito inferior à temperatura do Sol, a reemissão se dá em frequências menores. O efeito estufa é decorrente desta interação combinada com o aprisionamento da radiação infra-vermelha pelos gases do efeito estufa. O mesmo ocorre em uma estufa de vidro, mas a manutenção do aquecimento da estufa de vidro se dá muito mais pelo impedimento das correntes de convecção que pelo próprio efeito estufa. (baseado em Hewitt, p. 290-291)

Até então ainda não foi necessário se recorrer a um modelo de orbitais atômicos quantizados como o de Bohr. Se isto for feito, as noções de absorção e reemissão serão distintas da simples vibração. Ao invés de osciladores forçados, quando a energia radiante absorvida é maior que a diferença de energia entre dois orbitais, então se dá um salto quântico para um orbital mais exterior. Posteriormente, o elétron retorna ao seu orbital originando a emissão de radiação com energia total igual à diferença de energia entre os orbitais.

D.3.3.1 Espalhamento Compton e Efeito Fotoelétrico

O espalhamento Compton foi observado e explicado teoricamente em 1923. É, portanto, posterior ao modelo de Bohr (1913). Já o efeito fotoelétrico data de 1905. Não havia ainda a noção de orbitais quando da elaboração teórica de Einstein sobre o efeito fotoelétrico. Já para o experimento do efeito Compton, para a compreensão de porque no detector também se verificam picos de comprimento de onda da radiação incidente deve-se recorrer à noção de orbitais atômicos. Quando a interação se dá com elétrons de orbitais mais internos (e, portanto, mais ligados ao átomo) tem-se o espalhamento Thomson; já o efeito Compton decorre da interação com orbitais eletrônicos mais afastados (e menos ligados) do átomo. Diferentemente do efeito fotoelétrico em que toda energia dos fótons incidentes possibilita arrancar elétrons do material e os ejetar, no efeito Compton somente parte da energia do fóton incidente é entregue ao elétron, enquanto a energia remanescente compõe o fóton espalhado.

D.3.3.2 Espalhamento Thomson de raios X

O espalhamento de Thomson e o modelo atômico do pudim de passas foram desenvolvidos na mesma época e, tendo uma base teórica comum, são compatíveis.

Para J. J. Thomson: o átomo tratava-se de uma carga elétrica positiva homogeneamente distribuída na forma de uma esfera com elétrons movendo-se em seu interior em anéis concêntricos (não orbitais como introduzidos por Bohr, mas talvez o prenúncio deles). Cada elétron de carga e e massa m é considerado ligado ao centro do átomo e oscilando amortecidamente com frequência angular própria ω_0 ²⁹.

No Espalhamento Thomson a frequência angular da radiação incidente (raios X) é muito maior que a frequência natural de oscilação dos elétrons $\omega \gg \omega_0$.

D.3.3.3 Espalhamento Rayleigh

O espalhamento Rayleigh decorre da interação da radiação com moléculas de gases como o O_2 e N_2 e não com elétrons. Estas partículas (moléculas) são muito menores que o comprimento de onda incidente (entre as frequências do visível) e assim as frequências incidentes são muito menores que as frequências naturais de oscilação das moléculas ($\omega \ll \omega_0$).

²⁹BASSALO, J. M. Disponível em: www.seara.ufc.br/folclore/folclore155.htm. Acesso em 30 out. 2014.

Tanto o espalhamento Rayleigh quanto o espalhamento Thomson podem ser explicadas por modelos clássicos, tratam-se de oscilações harmônicas forçadas que envolvem absorção e reemissão de energia. Os elétrons absorvem energia e passam a oscilar reemitindo a radiação eletromagnética na mesma frequência absorvida. Importante ressaltar que nestes processos não ocorre ressonância. As frequências que os elétrons passam a vibrar não são suas frequências naturais de oscilação.

O espalhamento Rayleigh pode nos explicar porque o céu durante um dia seco sem nuvens se apresenta azul. Este espalhamento é seletivo e proporcional à frequência elevada a quarta potência. Isto quer dizer que o espalhamento é maior para as maiores frequências. Como a maior frequência que se enxerga fica na faixa do violeta, assim o céu seria visto se o olho humano tivesse um cone com pico de sensibilidade neste comprimento de onda. Ocorre que ao se olhar para o céu o cone do olho mais sensibilizado é aquele com pico no azul e por isto o céu nos parece azul.

D.3.3.4 Comparando o espalhamento Rayleigh com o espalhamento Thomson

A teoria subjacente aos efeitos de espalhamento (Thomson, Rayleigh) é clássica e se origina do estudo do oscilador harmônico forçado.

Para Thomson, o átomo tratava-se de uma carga elétrica positiva homogeneamente distribuída na forma de uma esfera com elétrons movendo-se em seu interior em anéis concêntricos. Cada elétron, de carga “ e ” e massa “ m ”, é considerado ligado ao centro do átomo e oscilando amortecidamente com frequência angular própria ω_0 .

No espalhamento Rayleigh a frequência natural das "antenas" é muito maior do que a frequência da luz incidente ($\omega_0 \gg \omega$) e as partículas (elétrons de N_2 e O_2) muito menores que o comprimento de onda incidente.

No espalhamento Thomson a frequência natural das "antenas" (elétrons) é muito menor do que a frequência da luz incidente ($\omega_0 \ll \omega$).

Como as frequências naturais de oscilação das moléculas de O_2 e N_2 e dos elétrons diferem das frequências da radiação incidente (luz visível para o espalhamento Rayleigh e raios X para o espalhamento Thomson) não há ressonância em ambos os casos.

D.3.3.5 Espalhamento *versus* dispersão da luz

Alguns autores utilizam, sem distinção, os termos *espalhamento* e *dispersão* da luz. Esta indistinção entretanto, pode formar um obstáculo epistemológico à aprendizagem. Assim, sugere-se a adoção destes termos conforme Silveira e Saraiva (2008):

O espalhamento da luz é o fenômeno pelo qual a luz, ao interagir com pequenas partículas, sofre mudança aleatória em sua direção. A intensidade da luz espalhada depende do tamanho da partícula comparada com o comprimento de onda da luz.

O espalhamento da luz não pode ser confundido com a dispersão da luz. A dispersão acontece se a velocidade de propagação da luz (ou de qualquer onda) em um meio depender da frequência da luz, isto é, luzes com cores diferentes viajam através do meio com velocidades diferentes. Desta forma, na dispersão o índice de refração da luz muda com a frequência. A dispersão acarreta, por exemplo, que a

luz branca que atravessa um prisma, se apresente decomposta nas cores do arco-íris, pois os raios luminosos com frequências diferentes, emergem do prisma segundo direções um pouco diferentes, sendo a luz vermelha a que menos se refrata e a azul a que sofre maior refração. (Silveira; Saraiva, 2008)

D.3.3.6 Céu azul

Fava (1985) apresenta a interação da luz com cargas elétricas das moléculas de ar com alusão a antenas moleculares de cargas vibrando conforme modelo de oscilador harmônico forçado. Sendo a frequência natural de vibração das cargas no domínio do ultravioleta, origina-se maior espalhamento, entre as cores visíveis, para as frequências mais altas.

Entretanto, não vemos o céu como violeta porque não possuímos cones com pico de sensibilidade no violeta. Possuímos cones com picos de sensibilidade no vermelho, verde e azul. Assim, mesmo que fótons violetas cheguem aos nossos olhos em maior número, o céu nos parece azul.

O livro *Física Conceitual* (Hewitt, 2002), para explicar o azul do céu, parte de uma analogia mecânica com diapasões de forquilha que entram em ressonância em determinadas frequências sonoras. Da mesma forma, elétrons de moléculas de oxigênio e nitrogênio são forçados a oscilar com frequências na faixa do violeta. Ao oscilarem, os elétrons emitem radiação. Isto explica o espalhamento seletivo que torna o céu azul.

Nas frequências de ressonância, onde as amplitudes de oscilação são grandes, a luz é absorvida. Mas em frequências que se situam abaixo e acima das frequências de ressonância, a luz é reemitida. (Hewitt, 2002, p. 456)

Determinadas cores, tais como o azul do céu, resultam de espalhamento seletivo. Considere o análogo envolvendo o som; se um som com frequência particular for direcionado para um diapasão de forquilha com frequência semelhante, o diapasão será colocado em vibração e acabará redirecionando o som em diversas direções. Dizemos, então, que o diapasão *espalhou* o som. Um processo análogo ocorre no espalhamento da luz por átomos ou partículas que se encontram afastadas umas das outras quando se encontram na atmosfera.*

*Este tipo de espalhamento é chamado de “espalhamento de Rayleigh” e ocorre sempre que as partículas espalhadas são muito menores do que o comprimento de onda da luz incidente, e entram em ressonância em frequências mais elevadas do que as da luz espalhada. O espalhamento é muito mais complexo do que o tratamento simplificado que estamos apresentando aqui. (Hewitt, 2002, p. 461)

Um feixe de luz incide sobre um átomo e aumenta o movimento oscilatório de seus elétrons. Os elétrons oscilantes reemitem a luz em diversas direções. A luz é espalhada. (Hewitt, 2002, p. 462)

A atmosfera terrestre, fortemente iluminada pela luz branca do Sol, espalha preferencialmente luz com frequências próximas à da cor azul, em todas as direções. Este tipo de espalhamento é denominado de espalhamento de Rayleigh, e acontece quando as partículas que interagem com a luz têm um tamanho muito menor do que o comprimento de onda da luz, que é o caso das moléculas de oxigênio (O₂) e nitrogênio (N₂) da atmosfera terrestre. No espalhamento de Rayleigh, a intensidade da luz espalhada é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda. Usando o exemplo de Lynch e Livingston (1993), isso significa que a luz azul, com comprimento de onda de 450 nm, é espalhada com intensidade cerca de 3 vezes maior do que a luz vermelha, de comprimento de onda de 600 nm. Portanto a luz espalhada pelas moléculas do ar é muito mais azulada do que a luz que sobre elas incidiu. Desta forma, de qualquer ponto do céu iluminado com a luz solar, chegará luz azulada aos nossos olhos e veremos o céu azul. (Silveira; Saraiva, 2008)

D.3.3.7 Tons vermelhos alaranjados do por do Sol

Por ser o vermelho a cor menos espalhada, quando se dá a interação de fótons solares com moléculas de oxigênio e nitrogênio, esta mesma cor é a que melhor é transmitida quando do por do sol. Isto porque, ao entardecer, a luz precisa atravessar uma camada bem maior de atmosfera para chegar até um observador do que durante o dia:

Ao entardecer, quando o Sol se encontra próximo ao horizonte, a luz solar deve percorrer um caminho mais longo na atmosfera do que quando o Sol se encontra elevado no céu.

Desta forma, conforme o Sol esteja mais próximo do horizonte, tanto mais luz é *espalhada*, retirando assim da luz branca preferencialmente a radiação nas frequências próximas à da cor azul. A luz transmitida (*não-espalhada*), por ter perdido parte das componentes com frequências mais altas, se apresentará mais amarela, podendo atingir a tonalidade de laranja e até de vermelho. Isto explica porque a cor do Sol muda do quase branco quando se encontra elevado no céu para os tons avermelhados característicos do nascente ou poente. As partículas de poeira presentes na atmosfera também contribuem para o avermelhamento do Sol, pois também espalham mais a luz azul do que a luz vermelha, embora não de maneira tão diferenciada quanto no *espalhamento de Rayleigh*. Para esses grãos de poeira, cujo tamanho é semelhante ao comprimento de onda da luz, a intensidade da radiação *espalhada* é inversamente proporcional à primeira potência do comprimento de onda. Mesmo assim esse efeito se soma ao *espalhamento* pelas moléculas de gás, de forma que, quanto mais poeira houver na atmosfera, mais vermelho será o Sol no crepúsculo. (Silveira; Saraiva, 2008)

O espalhamento decorrente de partículas com mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da luz incidente é conhecido como *espalhamento Mie*.

D.3.3.8 Nuvens brancas, grãos de sal e fio de nylon transparentes ou brancos

Se com baixa nebulosidade, o céu nos parece azul durante o dia e avermelhado no entardecer, porque algumas nuvens nos parecem brancas?

Para partículas muito maiores do que o comprimento de onda da luz, como é o caso das gotículas de água, o *espalhamento* não depende mais do comprimento de onda, e, portanto, a intensidade da luz espalhada é a mesma para todas as cores. É por isso que as nuvens são brancas e, em dias muito nublados, vemos o céu todo esbranquiçado. (Silveira; Saraiva, 2008)

Um grão de sal grosso, ou um pedaço de fio de nylon, pode nos parecer, isoladamente, transparentes. Quando há um punhado de sal grosso ou um carretel de fio de nylon, a luz que chega aos nossos olhos provém, simultaneamente, de diferentes refrações e dispersões de diferentes comprimentos de onda. Portanto, nos parecerá de cor branca.

D.3.4 Referências

FAVA, L. F. Porque é o céu azul? *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 3-5, abr. 1985.

FIGUEIREDO, A.; PIETROCOLA, M. *Luz e cores*. São Paulo: FTD, 1997. In: Coleção: Física um outro lado.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. (Tradução: Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina). 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 686p.

MINNAERT, M. *The nature of light & colour in the open air*. New York: Dover Publications, Inc., 1954.

SANDOVAL, J. D.; SANDOVAL, J. J. S. A sensação de cor: um problema da física? algumas experiências para a sala de aula. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 183-195, dez. 1990.

SILVEIRA, F. L. *Sombras coloridas: uma bela aplicação da Teoria de Young-Helmholtz*. Disponível (em vídeo) em: <http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=videos>. Acesso em 17 jun. 2014.

SILVEIRA, F. L. da.; SARAIVA, M. F. Cores da lua cheia. *Física na Escola*, São Paulo, v. 9, n. 2, 2008.

D.4 UNIDADE 4 – RADIAÇÕES IONIZANTES E APLICAÇÕES MÉDICAS

Objetivos: Introduzir conceitos básicos de Física das Radiações Ionizantes e apresentar algumas aplicações.

D.4.1 O que é radiação ionizante?

Radiação é uma forma de energia emitida por uma fonte, que se propaga de um ponto a outro ou, dito de outra maneira, é uma forma de emissão e propagação de energia³⁰. *Embora os termos radiação e onda eletromagnética possam ser considerados sinônimos, quando nos referimos à radiação eletromagnética estamos enfatizando também seu caráter corpuscular.* Como vimos na Unidade 2, nos anos 20, do séc. XX, a dualidade onda-partícula foi proposta. O termo *radiação ionizante* é usado para designar tanto um feixe de partículas com carga elétrica (partículas alfa e partículas beta, entre outras), como partículas sem carga elétrica (nêutrons), quanto para nomear fótons de alta energia (radiação X e radiação gama). Em uma linguagem consistente com a dualidade onda-partícula, nos processos de emissão e absorção, os fótons (de alta energia) comportam-se como partículas e nos processos de propagação da luz, comportam-se como ondas.

Quando a *radiação* eletromagnética possui energia suficiente para arrancar um dos elétrons ligados a átomos neutros, o resultado é um par de íons, nesse caso diz-se que a radiação é *ionizante*. A *ionização* decorre, portanto, da retirada direta ou indireta de um elétron de um átomo, que então se transforma em um íon positivo.

D.4.2 Raios X e radioatividade a partir dos estudos e pesquisas de Roentgen, Curie e Becquerel

A primeira bomba de vácuo que se tem notícia foi construída por Otto von Guericke por volta de 1650. Os primeiros tubos de vácuo para observação de descargas elétricas foram construídos por William Morgan, por cerca de 1785. Por volta de 1833, Michael Faraday já realizava pesquisas com descargas elétricas em tubos de gases rarefeitos (Fonte:<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/raiosx/rxhist.html>). Desde o início da segunda metade do século XIX, com os avanços substanciais no desenvolvimento das bombas de vácuo e a conseqüente construção de tubos evacuados de Heinrich Geissler (disseminados/usados também para fins decorativos) e, mais tarde, com os tubos construídos por William Crookes, é que foram aprofundadas

³⁰GASPAR, A. *Física*. São Paulo: Ática, 2001. v. 3, p. 283.

as pesquisas sobre a natureza das radiações emitidas nas descargas elétricas. Eugen Goldstein batizou as radiações visualizadas nestes tubos de *raios catódicos*.

Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) foi um dentre vários pesquisadores que investigavam acerca da natureza dos *raios catódicos* usando um tubo de Crookes. (Em 1895 Jean Baptiste Perrin (1870-1942) mostrou que os *raios catódicos* transportavam eletricidade negativa e, em 1897, J. J. Thomson veio a identificá-los como feixes de partículas carregadas, que vieram a ser chamados de elétrons.)

Em 5 de novembro de 1895, na Universidade de Würzburg, Alemanha, Roentgen, acidentalmente vislumbrou uma luminescência do lado oposto da sala escurecida, quando ligou o tubo de Crookes. Verificou que o brilho vinha de uma folha de papel revestida com uma camada de platinocianeto de bário. Então, colocou o tubo de *raios catódicos* dentro de uma caixa preta de papelão e tornou a ligá-lo. Verificou que o brilho no platinocianeto persistia. Vendo que a radiação ultrapassara o papelão resolveu verificar se atravessaria também uma parede. Levou o papel para a sala ao lado, escureceu-a e ao ligar o tubo de raios catódicos fez o papel luzir de novo. Esta é a história da descoberta dos raios X contada em vários livros que comentam o assunto.

O texto apresentado na página “www.nobelprize.org” não menciona nem papelão nem parede. Lá é relatado que Roentgen colocou finas lâminas metálicas de cobre e alumínio, entre o tubo e a placa, mas ela continuava a brilhar. Somente quando colocou chumbo no caminho da radiação é que se formou uma sombra. Explorando a sombra do chumbo no platinocianeto acabou verificando, na parte não encoberta pelo chumbo, a imagem dos ossos de sua mão. Outras fontes (como encontrado em <http://www.icb.ufrj.br>) relatam que Roentgen estaria segurando seu cachimbo quando viu a imagem de seus ossos.

Roentgen teria, portanto, verificado o fenômeno e, em seguida, a sua aplicação médica. Este fato levou a farta investigação sobre estes raios nos anos que se seguiram. Roentgen chamou-os de Raios X, mas inicialmente ficaram conhecidos como Raios Roentgen.

Roentgen fez uma série de observações acerca dos raios X e concluiu que:

- são diferentes dos raios catódicos;
- causam fluorescência em certos sais metálicos;
- sensibilizam chapas fotográficas;
- são radiações semelhantes à luz por formarem sombras (indicando propagação retilínea) e não serem desviadas por ímãs, mas diferiam delas por ele não ter observado desvio em lentes ou prismas. Inferiu que seriam comparáveis aos raios UV (ultravioleta) ou, quem sabe, ondas longitudinais do éter (Martins, 1990).

Depois da publicação do primeiro artigo de Roentgen, vários pesquisadores começaram a investigar os tais raios. Foi verificado que os raios X eram capazes de descarregar eletroscópios (permitindo concluir que ionizam o ar) e que atravessam sólidos tanto melhor quanto maior era a tensão estabelecida no tubo de raios catódicos.

Henri Poincaré verificou que os raios X eram produzidos no tubo de raios catódicos quando estes colidiam no vidro, tornando-o fluorescente. Ele questionou, então, se fluorescência e raios X não teriam uma relação direta que talvez explicasse a natureza dos raios (Martins, 1990). Essa

relação entre fluorescência e raios X norteou muitas pesquisas que se sucederam. Parecia que os corpos luminescentes além de poder emitir radiação visível e infravermelha também podiam emitir raios X.

Henry Becquerel foi um destes pesquisadores que resolveu investigar se materiais fluorescentes também não produziam raios X. Repetiu o procedimento já realizado por Niewenglowski de colocar alguma substância luminescente sobre uma chapa fotográfica envolta em papel preto e expô-la à luz do sol, revelando depois o filme e verificando se ocorria enegrecimento da película na área da substância. A única diferença em relação ao procedimento de Niewenglowski foi na substância luminescente escolhida, um sal de urânio, o sulfato de uranila e potássio (Niewenglowski teria utilizado em seu experimento o sulfeto de cálcio fosforescente) . Segundo Martins (1990), Becquerel teria relatado que para continuar a investigação preparou outras amostras para expor ao sol e depois revelar o filme. Reparou que mesmo em dias de sol intermitente (e, portanto o sal de urânio seria exposto a luz durante pouco tempo) e depois com até 7 dias de obscuridade, o filme era também sensibilizado. Inferiu que a fosforescência invisível parecia durar muito mais do que a fosforescência visível e atribui uma explicação ao fenômeno que seria chamado de *hiperfosforescência*. Também teria relatado em seus artigos da época que a radiação que estudava *era semelhante à luz, pois se refletia e refratava, ao contrário dos raios X* (Becquerel, 1896 *apud* Martins, 1990, p. 37). Não se sabe como teria chegado a estas conclusões. Atualmente não verificamos reflexão e refração com raios X e gama.

De 1896 até 1898, a única observação de importância neste campo de estudo foi *que a radiação do urânio permanece forte ao longo dos meses, apesar de não haver recebido luz* (Martins, 1990, p. 38). Becquerel, em 1898, ainda acreditava que a excitação pela luz aumentava a radiação emitida embora outros cientistas não observassem este efeito. O pai de Becquerel já trabalhava com o fenômeno da fosforescência. Talvez por influência dele tenha permanecido com a idéia de que os *raios de urânio* ou *raios Becquerel* eram uma forma de fosforescência.

Em 1898, dois pesquisadores verificaram que o Tório, assim como o Urânio, também emitia radiações do tipo *raios Bequerel*: o alemão G.C. Schimidt e a polonesa radicada na França Marie Sklodowska Curie. (Martins,1990, p.38). As verificações foram realizadas utilizando *câmaras de ionização* ao invés de chapas fotográficas: colocando-se compostos com elementos emissores dos *raios Becquerel* (inicialmente urânio ou tório) entre placas paralelas, o ar ficava ionizado, as placas eletrizadas e era possível medir uma corrente elétrica. Pierre Curie, o marido de Marie, havia com seu irmão Jacques descoberto o *efeito piezoelétrico* e construído a *balança de quartzo piezoelétrico*, que ligada a uma bateria e um eletrômetro media a capacidade de ionização dos raios Becquerel (piezo vem do grego, *piezein*, que significa apertar). Os irmãos Curie verificaram que cristais hemidrítricos como o quartzo, quando pressionados, fornecem uma carga elétrica e quando carregados, alteram sua forma (Quinn, 1997, p.118).

Susan Quinn (1997, p. 158) assim explica a montagem experimental para medida do poder de ionização dos emissores de raios Becquerel:

... os Curie construíram, com engradados descartados de madeira, de mercearia, uma "câmara de ionização". Dentro colocaram duas chapas circulares de metal, com oito centímetros de diâmetro, uma acima da outra e separadas por três centímetros.

Na chapa inferior, colocaram uma fina camada da substância em questão. Depois, carregaram a chapa inferior com uma bateria de alta voltagem. Se a substância em cima da chapa fosse um condutor através do ar, a chapa superior ficaria carregada. A velocidade com que isto acontecia era proporcional à energia emitida pela substância em questão.

...Uma fotografia transmite a complexa interação, de experimentadores e aparelhagem, envolvida nessas delicadas medidas. A aparelhagem, um conjunto de aspecto desajeitado de cilindros, fios e varas, está espalhada por sobre toda a extensão de uma mesa de trabalho. Marie Curie está sentada a uma extremidade da mesa, com um cronômetro na mão esquerda, os olhos fixos na agulha de um eletrômetro, a mão direita segurando um peso que ela solta para produzir uma carga do quartzo piezoelétrico, com a qual neutraliza outra carga, esta emitida pela substância que está na câmara de ionização. O relativo poder ionizador da substância é julgado pela quantidade de tempo que ela leva para produzir “saturação”, o ponto no qual mais nenhuma carga pode ser transmitida através do ar.

Marie Curie pesquisou vários compostos e encontrou dois compostos de Urânio com maior poder de ionização sobre o ar, maior que o próprio urânio: A pechblenda (ou uraninita) e a calcolita. Este fato fez o casal Curie inferir que nestas amostras deveria haver outro(s) elemento(s) que emitiam os *raios Bequerel* em maior intensidade que o Tório e o Urânio.

Enquanto Becquerel chamou a propriedade do Urânio de fenômeno de hiperfosforescência, atribuindo caráter de fenômeno químico, os Curie apresentaram o fenômeno como físico. O Urânio, Tório e possivelmente outros elementos químicos eram fontes de energia independentes. *Irradiavam eletricidade* (ionizavam o ar) sem reagir quimicamente com nenhum outro elemento. O fenômeno observado tratava-se, portanto, de uma propriedade atômica. Em 1899, Marie Curie teceu o termo *radioatividade* como sendo uma propriedade particular de alguns átomos de emitir os *raios de Bequerel*. Ela e seu marido, em investigações com a uraninita/pechblenda, acabaram prevendo que o maior poder de ionização deste minério em relação ao Urânio se dava pela existência neste material de dois outros elementos mais radioativos que o Urânio e, até então, desconhecidos. Em homenagem à terra natal de Marie propuseram que um deles, se confirmado, se chamasse Polônio. Por processos químicos não conseguiram separá-lo do Bismuto e também não identificaram raios espectrais que caracterizassem este elemento. O outro elemento, descobriram ser um elemento muito mais radioativo que os, até então, conhecidos e por isso o chamaram de Rádio. Do Rádio conseguiram identificar raios espectrais. Entretanto, para os Curie, os átomos que emitiam os raios Becquerel irradiavam uma quantidade muito grande de energia de forma constante e não suspeitavam que a radioatividade *acarretava transformações de um elemento químico em outro* (Martins, 1990, p. 41).

Nem Becquerel, nem os Curie, teorizavam o fenômeno que chamamos de radioatividade da forma como hoje o fazemos. Becquerel sempre tentou preservar a idéia inicial de Poincaré de relacionar raios X e os raios *urânicos* com luminescência, batizando os fenômenos com o nome de hiperfosforescência (uma espécie de luminescência). Os Curie verificaram que o termo atribuído por Becquerel, a hiperfosforescência, não era adequado ao que ocorria com os átomos de sais de urânio e outros elementos químicos (Tório, Polônio, Rádio) e cunharam o termo radioatividade, uma propriedade intrínseca destes elementos.

Somente em 1902, quando Rutherford e Soddy publicaram o artigo “A Causa e a Natureza da Radioatividade” que foi esclarecida a diferença essencial entre os raios X e a radioatividade: os raios

X são produzidos quando uma substância (Tungstênio nos ânodos rotatórios de equipamentos atuais de radiologia médica) é bombardeada, enquanto que a radioatividade ocorre espontaneamente. Átomos instáveis pesados se desintegram e tendem a se transformar em átomos mais leves e estáveis.

D.4.3 Fósforos, luminescência, fosforescência e fluorescência

Segundo Bushong (2004, p 191), todo material que emite luz em resposta a um estímulo exterior é dito luminescente e recebe o nome de fósforo. A luz visível emitida é conhecida por luminescência. A luminescência é decorrente de um processo similar à emissão de raios X característicos. *Em uma tela intensificadora, a absorção de um único fóton de raios X produz a emissão de milhares de fótons lumínicos.*

Ainda segundo Bushong (2004, p. 192), a fluorescência é o processo de emissão de luz visível durante a estimulação do fósforo, enquanto que quando o fósforo segue emitindo luz após a estimulação, o processo é denominado fosforescência.

Cabe estabelecer uma clara distinção entre fluorescência e fosforescência segundo o movimento do elétron excitado em torno do núcleo. Quando o elétron retorna a seu estado normal com a emissão de luz dentro de uma revolução depois da estimulação, o processo se enquadra dentro dos fenômenos de fosforescência. O tempo requerido para que um elétron cubra uma revolução em torno do núcleo é de 10^{-8} s (Bushong, 2004, p. 192).

Em suma, na fluorescência não há retardo, enquanto que na fosforescência a emissão de luz persiste por um tempo maior que 10^{-8} s. Em telas intensificadoras utilizadas em radiologia médica o fenômeno da fluorescência é, pelo menos, dominante, enquanto que a fosforescência, discutível.

D.4.4 Telas intensificadoras utilizadas em radiologia médica

Nos serviços de radiologia convencional com filmes radiográficos (atualmente sendo substituídos por serviços com radiografia computadorizada ou radiografia digitalizada) são utilizadas telas intensificadoras (também chamadas de *écrans*) nas paredes internas dos *chassis* que comportam tais filmes. Os filmes são colocados dentro destes chassis para não serem sensibilizados pela luz ambiente. Os raios X, após serem atenuados pelos tecidos e ossos do corpo humano, atravessam o material do chassi e incidem no filme. Para intensificar a radiação capaz de sensibilizar o filme é que se utilizam os tais *écrans*. Os fótons de altas energias dos raios X ao interagirem com o material do *écran* acabam ionizando ou excitando átomos. Elétrons de orbitais mais afastados acabam preenchendo as lacunas geradas emitindo radiação na faixa do visível que têm maior poder de sensibilização sobre o filme fotográfico. A intensificação não se dá na energia dos fótons, mas sim na quantidade (um fóton de raios X pode ionizar/excitar mais de um átomo) e na maior probabilidade destes fótons menos energéticos interagirem com a emulsão do filme. Segundo Bushong (2004), em exames radiográficos somente 1% dos fótons de raios X incidentes interagem diretamente com o filme. Aproximadamente 30% dos raios X incidentes interagem com o *écran* e em cada interação é emitido um alto número de fótons de luz visível.

D.4.5 Radioatividade, decaimento radioativo, meia-vida e datação por análise radioativa

Núcleos de alguns elementos químicos são estáveis, isto é, tendem a permanecer com determinado número de prótons e nêutrons. Outros núcleos são instáveis e tendem a formar núcleos de outros elementos. A instabilidade destes núcleos se manifesta pelo desequilíbrio entre as forças de atração nucleares e as de repulsão eletromagnética entre prótons. Como todo sistema instável que tende à estabilidade, os núcleos instáveis tendem a se desintegrarem (decaírem) originando outro elemento químico e emissão de energia sob forma de radiação ionizante. Em geral, esta instabilidade é mais provável quanto maior for o número de prótons do elemento (número atômico, justamente o que define o elemento químico). A radioatividade é a propriedade destes núclídeos instáveis de modificar o núcleo original e emitir radiação simultaneamente. Todos os elementos com número atômico Z maior que 82 são radioativos (Hewitt, 2002, p.555).

Sendo o número de massa A definido pela soma do número de prótons (Z , número atômico) com o número de nêutrons (N) do núcleo³¹, então:

$$A = Z + N . \quad (4.1)$$

Podemos usar a notação de um elemento radioativo qualquer X com Z número de prótons e número de massa igual a A escrevendo:

$$X_Z^A . \quad (4.2)$$

Existem três formas básicas da radiação emitida quando da desintegração de núcleos instáveis: alfa, beta e gama.

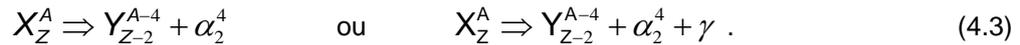
A radiação alfa é composta por dois prótons e dois nêutrons (equivalente ao núcleo do elemento Hélio, podendo ser denotada por α_2^4). Quando esta emissão ocorre, do núcleo pai (núcleo do elemento instável original) sobra um núcleo com dois prótons e dois nêutrons a menos. Em geral, o decaimento alfa ocorre em núclídeos com elevado número de massa, nos quais a repulsão coulombiana entre prótons é muito grande (Palandi *et al.*, 2010).

Já a radiação beta é fruto do desequilíbrio entre o número de nêutrons e prótons em um núcleo. Quando o número de nêutrons é muito maior que o número de prótons a tendência é da transformação de um nêutron em um próton com conseqüente emissão de um elétron (radiação β^-) e um antineutrino (ν^*). E quando o número de prótons é muito maior que o número de nêutrons a tendência é da transformação de um próton em nêutron acompanhada da emissão de um pósitron (partícula positiva de mesma carga e massa que o elétron, neste caso radiação β^+) e um neutrino (ν).

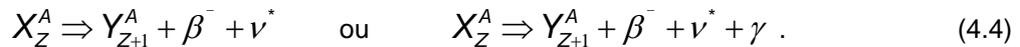
Se o núcleo filho resultante de um decaimento α ou β estiver em um estado excitado, o processo é seguido da emissão de radiação γ (fotônica, sem massa).

Assim, se um radionuclídeo sofrer um decaimento α , teremos:

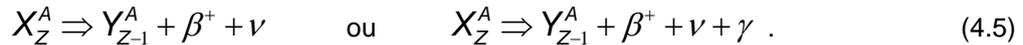
³¹ O número de massa A é assim chamado porque é a soma de todos os integrantes do átomo com massa relevante, isto é, prótons e nêutrons. Os elétrons têm massa aproximadamente 1840 vezes menor que os prótons ou nêutrons e, então, sua massa é desprezível.



Já um decaimento β^- pode ser descrito por:



E, por fim, o decaimento β^+ :



Como exemplo de decaimento alfa, o Polônio 211 ($A=211$ e $Z=84$) decai no Chumbo 207 ($A=207$ e $Z=82$) que é estável. Podemos então escrever:



E para ilustrar o decaimento beta, o Trítio (Hidrogênio 3 (um próton, $Z=1$) com 3 núcleons ($A=3$. um próton + 2 neutrons)) decai no Hélio 3 (2 prótons e um nêutron, um isótopo³² do conhecido Hélio 4, abundante na Lua e que ainda pode servir para obtenção de energia aqui na Terra em processos de fusão nuclear) que também não é radioativo:



A *radioatividade natural* ocorre espontaneamente na natureza. Mas existem métodos de *produção artificial* de núclídeos instáveis. O casal Irene Curie (filha de Marie Curie, que na primeira guerra mundial com a mãe participou da capacitação de militares no uso dos equipamentos de raios x instalados em unidades móveis) e Frederick Joliot descobriram a radioatividade artificial em 1934³³. Ao bombardear o alumínio com partículas alfa, o alumínio absorvia a partícula alfa e depois emitia um nêutron transformando-se em um fósforo instável. Afastando a fonte e deixando um contador Geiger (tipo de detector de radiação ionizante, ver item 4.5.2) perto do alumínio, por alguns minutos, o Geiger ainda sinalizava a presença de elemento radioativo, mas logo cessava. Curie-Joliot descobriram a radioatividade artificial, quando Marie Curie ainda estava viva e receberam o prêmio Nobel de Química 1 ano após sua morte – Marie Curie faleceu em 1934 e o prêmio foi recebido em 1935.

D.4.5.1 Meia-vida: o fósforo instável decorrente do bombardeio de partícula alfa no alumínio tem meia-vida muito curta, de aproximadamente três minutos. Isto quer dizer que, após três minutos, o número de átomos ainda radioativos na determinada amostra de fósforo cai pela metade. O decaimento de um particular átomo é indeterminado, isso é, nunca se sabe ao certo quando determinado átomo vai decair, é um processo probabilístico. Já o Polônio 211 acima citado tem meia

³²Dois isótopos têm o mesmo número atômico Z (mesmo número de prótons e portanto o mesmo nome de elemento químico), mas têm diferentes números de massa A .

³³No final de 1899, Pierre e Marie já haviam verificado que *o rádio podia tornar radioativos os corpos próximos* (Martins, 1990 p. 42), era a *radioatividade induzida* (Strathern, 1940, p. 82).

vida de 0,005s. E o Césio 137 do conhecido desastre de Goiânia tem meia-vida de aproximadamente 30 anos.

D.4.5.2 Contador Geiger: a radiação ionizante produz íons e elétrons livres que podem, devido a uma diferença de potencial, serem coletados gerando um sinal que, amplificado, pode mover um ponteiro (indicando a quantidade de radiação) ou produzir um ruído (Bruckmann; Fries, 1991) ou ainda outra forma eletrônica de contagem.

A lei fundamental do decaimento radioativo pode ser escrita na forma:

$$N = N_o \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (4.8)$$

onde

N_o é o número inicial de núcleos radiativos da amostra

N é o número de núcleos radioativos no instante t

e λ é a taxa de decaimento radioativo dada em unidade de inverso do tempo.

Se após uma meia vida, o número de átomos radioativos cai pela metade, então:

$$\frac{N_o}{2} = N_o \cdot e^{-\lambda \cdot t}, \quad (4.9)$$

Simplificando a expressão e aplicando o logaritmo natural dos dois lados da igualdade:

$$\ln \frac{1}{2} = \ln(1 \cdot e^{-\lambda \cdot t}) \text{ e, então, } \ln(1) - \ln(2) = \ln(e^{-\lambda \cdot t}) = 0 - 0,693 = -\lambda \cdot t,$$

e a meia vida será dada por:

$$t = T_{\frac{1}{2}} = \frac{0,693}{\lambda}. \quad (4.10)$$

Já a taxa de decaimento radioativo λ pode ser obtida da meia vida $T_{\frac{1}{2}}$ pela expressão:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0,693}{T_{\frac{1}{2}}}. \quad (4.11)$$

D.4.5.3 Datação por análise radioativa: Os endereços abaixo levam a aplicativos do PHET Colorado que ilustram os decaimentos alfa e beta (entre outros os acima mencionados) e oportunizam condições para a construção do conceito de meia vida e do entendimento dos processos de datação por análises radioativas (clique em *translated sims* e escolher *portuguese version* em):

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Alpha_Decay;

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Beta_Decay;

http://phet.colorado.edu/simulations/sims.php?sim=Radioactive_Dating_Game.

O último endereço leva a um aplicativo muito esclarecedor sobre a datação por análise de amostras radioativas usando, entre outros métodos, o do Carbono 14. Na pasta *Dating Game* pode-se, visualizando a porcentagem de Carbono 14 existente na amostra em um campo do aplicativo, inferir a sua idade com base na meia vida. A meia vida do Carbono 14 é de 5730 anos. O Carbono 14 só começa a decair após a morte do ser vivo. Partindo da equação (4.7), podemos escrever:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} \quad (4.12)$$

Então, se quisermos ter uma estimativa da idade daquela casa (feita de madeira) que aparece no aplicativo, por exemplo, então vemos que ainda existe 99,1% de Carbono 14 na amostra.

Então $\frac{N}{N_0} = 0,991 = e^{-\lambda \cdot t}$. Como $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{5730} = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ anos}^{-1}$ a idade da casa (t)

é de aproximadamente 74,7 anos. Tente descobrir, a partir desta dica, a idade dos outros objetos. Por que a escolha do Urânio 238 não seria adequada para estimar a idade da mesma casa?

D.4.6 Produção de raios X

D.4.6.1 Raios X de freamento

Quando elétrons (vindos do cátodo, lembrar que inicialmente elétrons eram chamados de raios catódicos) incidentes no ânodo passam muito perto de um núcleo sofrem atração eletromagnética, desviam-se e perdem energia mecânica e ao mesmo tempo em que aquecem o material do ânodo e emitem fótons de raios X. A maior parte da energia perdida pelo elétron (aproximadamente 99% consiste no aquecimento do material enquanto que apenas 1% produz fótons. A esta forma de produção de raios X chamamos raios X de freamento, raios X de frenamento ou *bremsstrahlung*.

D.4.6.2 Raios X característico

Elétrons incidentes de alta energia também podem interagir com elétrons de átomos do metal de forma a ejetá-los de suas órbitas, formando vacâncias (lacunas, *orbitais desocupados*). O átomo excitado é instável e a tendência natural é que um elétron de orbital mais afastado do núcleo venha a preencher a lacuna. Nesse *salto quântico* é emitido um fóton de frequência igual à diferença de energia entre os orbitais dividida pela constante de Planck. Pode ocorrer ainda que o preenchimento das lacunas se dê em estágios consecutivos com uma interação em orbital intermediário produzindo mais de um fóton (tantos quantos forem os saltos entre orbitais).

D.4.7 Irradiação e Contaminação - diferenças

A irradiação se dá quando um corpo é exposto a uma fonte de radiação. Já para que a contaminação se dê é necessário que ocorra contato físico com material radioativo.

Um tubo de Raios X não possui material radioativo e, portanto, não existe possibilidade alguma de contaminação com raios X (uma pessoa exposta a raios X é irradiada). Além disto, só existe emissão de raios X enquanto o equipamento estiver ligado à rede elétrica e com o disparador acionado. Entretanto, se uma pessoa ingerir, inalar ou sofrer algum outro tipo de contato físico com material radioativo, então ela fica contaminada.

Todas as pessoas contaminadas são também irradiadas, mas nem todas as pessoas irradiadas são contaminadas.

D.4.8 Radiações ionizantes e aplicações médicas

A aplicação médica dos raios X, como já dissemos, foi percebida de forma simultânea à sua descoberta. Segundo Okuno (1988, p. 72) as aplicações da radiação na medicina constituem um campo genericamente denominado *Radiologia* (Médica) que compreende a radioterapia, a medicina nuclear e a radiologia diagnóstica.

D.4.8.1 Radiologia diagnóstica

A radiologia diagnóstica, também chamada de radiodiagnóstico, consiste na utilização de radiação para fins de diagnóstico médico e odontológico. A radiologia diagnóstica com raios X e a medicina nuclear diagnóstica são formas distintas de radiologia diagnóstica.

D.4.8.2 Radiologia diagnóstica com raios X

Existem vários tipos de equipamentos diagnósticos emissores de raios X: raios X convencional, raios X com fluoroscopia, tomografia, mamografia, densitometria óssea, raios X odontológico intra-oral e raios X odontológico extra-oral.

Nos equipamentos de raios X convencional, mamografia e raios X odontológico intra-oral o filme radiográfico é sensibilizado em exposições que duram menos de um segundo. Em mamas a densidade do tecido é baixa e são utilizadas baixas tensões, na ordem de 25 a 34 kVp. Dentes são mais densos que mamas e os equipamentos de raios X odontológico intra-oral operam à tensão constante de 60 ou 70 kVp. Já os equipamentos de raios X convencional têm tensão máxima de 100 a 150 kVp. Para cada tipo de exame e conforme as características físicas do paciente pode-se escolher um regime diferente de kVp, mA e t(s): O kVp (quilo Volt pico) é relacionado com a energia máxima dos fótons que serão emitidos. A grande maioria dos fótons terá energia menor que o valor máximo. Por isso, a introdução do *p* ao lado do *kV*. O *p* é de pico. O mA é a corrente elétrica anódica, relacionada com o número de fótons gerados e o t(s) é o tempo de duração da exposição. Alguns equipamentos como os de mamografia e raios X odontológico intra-oral em vez de controle de mA e t(s) a opção de seleção é do produto da corrente elétrica anódica vezes o tempo denominado de *mAs* e está relacionado também com o número de fótons gerados na exposição.

Em equipamentos de mamografia e alguns raios X convencionais, também pode existir um controle automático de exposição, onde uma câmara de ionização recebe os primeiros fótons e, então, fornece o kVp e o *mAs* mais apropriados ao exame, facilitando o trabalho do técnico.

A exposição a um determinado regime de kVp e *mAs* de equipamentos emissores de radiação (e também, a exposição devido a uma fonte radioativa) varia de acordo com o inverso do quadrado da distância. Isto quer dizer que, se dobrarmos a distância, por exemplo, a energia por unidade de tempo que chegará a um objeto (ou paciente) será quatro vezes menor.

D.4.8.3 A interação da radiação com o paciente

Quando raios X interagem com o corpo humano, ocorre tanto efeito fotoelétrico como efeito Compton. No primeiro a radiação incidente provoca a emissão de elétrons enquanto que no efeito Compton além do elétron ejetado se dá a emissão de fóton de menor energia e, portanto, menor frequência e maior comprimento de onda, a radiação é espalhada. Aproximadamente três quartos

das moléculas que compõe o corpo humano são de água. Na água, o efeito fotoelétrico predomina em relação ao efeito Compton até a energia da ordem de 26keV. Se os fótons de raios X tiverem energia maior que esta, então o efeito Compton se dá em maior frequência. Algo parecido ocorre com o corpo humano, embora este tenha densidades distintas. Certo é que para energias incidentes maiores, maior é a radiação espalhada.

D.4.8.4 Tomografia computadorizada

D.4.8.4.1 Atividades e *links* sobre tomografia axial computadorizada

a) Em que consiste a tomografia e como funciona o tomógrafo

No endereço: <http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>

Física 2000 da Universidade do Colorado, no hipertexto Esquadrinhadores de TEC, (*Escáner TAC* em espanhol e na versão em inglês *CAT Scans*) (<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>) ou em <http://maloka.org/fisica2000/> clicando em "*Escanner TAC/CAT Scans*" os princípios da tomografia são apresentados de forma a explicar como imagens tomográficas são formadas a partir de radiografias axiais planas superpostas. Para tanto apresenta projeção de sombras no plano, simula incidências de raios X em uma figura plana em diferentes direções e apresenta a retro projeção como forma de (re)-compor a imagem escaneada.

Em suma, *fatia-se a imagem* através de radiografias axiais e depois ela é reconstruída.

b) A manipulação da imagem

No endereço: <http://www.im-uff.mat.br/puc-rio/cdfv/livro/javaview/applets/tomography/campo.minado.html>

há um jogo, *o campo minado no toro*. Não pelo jogo (embora talvez interesse a alguns alunos), mas sim para mostrar que o computador pode manipular o ângulo de visualização da imagem tridimensional formada. Ainda existe a possibilidade do operador e/ou médico mostrar a fatia ou corte que lhe convier, mas isto o jogo não mostra. Só mostra os cortes paramétricos que podem ser realizados.

D.4.8.4.2 Gerações de tomógrafos

Pode-se classificar os tomógrafos em quatro gerações principais.

Na 1ª geração o tubo e o detector realizam sucessivas translações e rotações conforme ilustra a Figura 4.1. Em cada translação ocorre a emissão de um feixe de raios X aproximadamente paralelos.

Nos tomógrafos de segunda geração, o tubo emite feixes de raios *em forma de leque* e ao invés de um detector há um conjunto deles, que também realizam translações seguidas de rotação. A Figura 4.2 ilustra o funcionamento de um tomógrafo de 2ª geração.

Os tomógrafos de 1ª e 2ª geração estão proibidos de operar no Brasil desde 1998 (Portaria 453/98-MS de 1º de junho de 1998) devido a grande exposição à radiação que os pacientes sofriam.

Nos tomógrafos de 3ª geração não ocorrem translações puras. Tubo e um arranjo de detectores em forma de um arco descrevem uma mesma circunferência em posições opostas conforme ilustra a Figura 4.3.

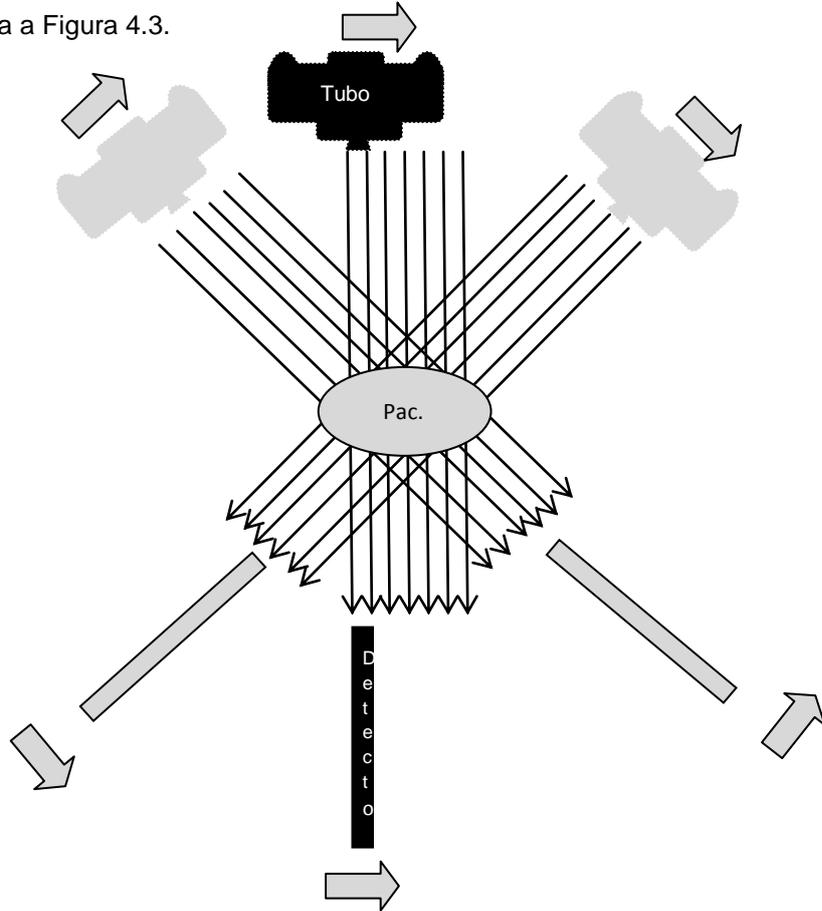


Figura 4.1: Tomógrafo de primeira geração. (No diagrama, tubo representa o tubo de raios X)

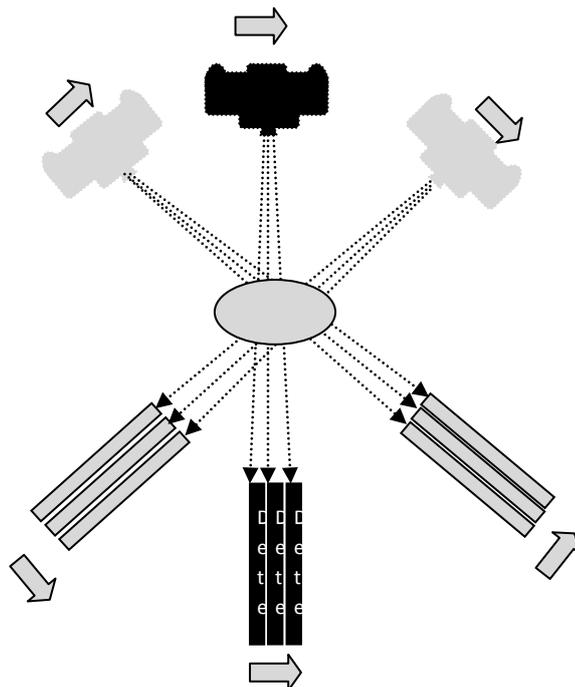


Figura 4.2: Tomógrafo de segunda geração.

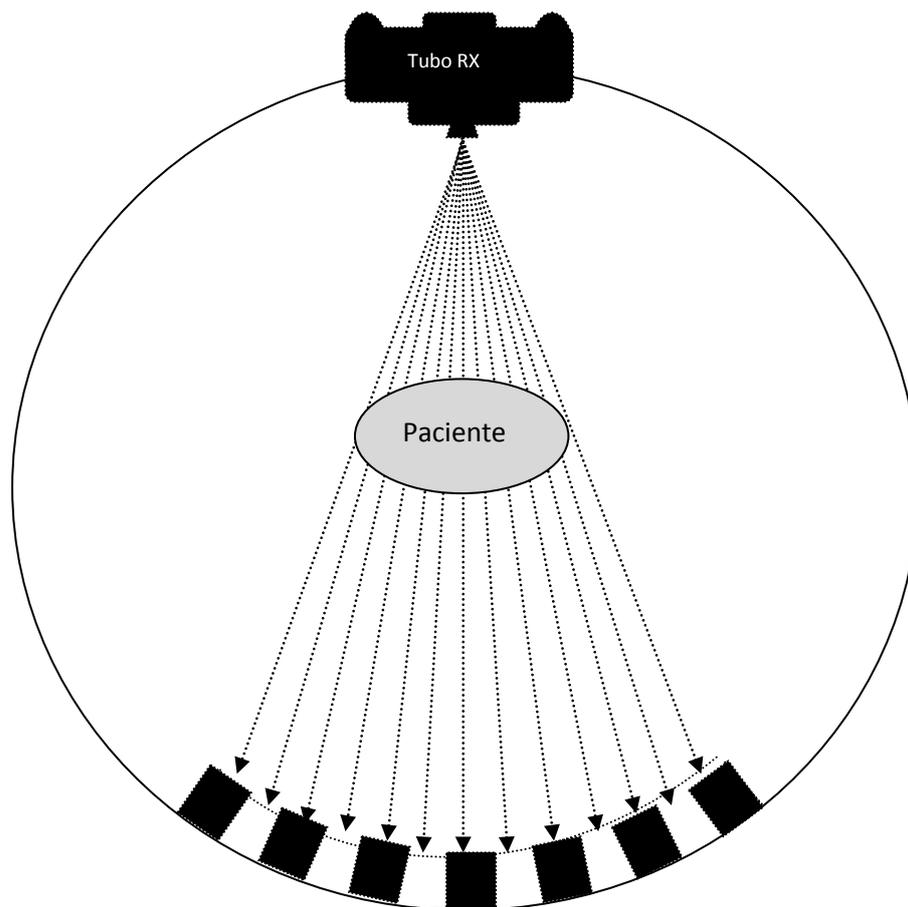


Figura 4.3: Tomógrafo de terceira geração.

Já nos tomógrafos de 4ª geração somente o tubo gira em torno do paciente e os detectores são fixos ao longo de 360°. Isto é ilustrado na Figura 4.4.

Para realizar tomografias do coração ou de órgãos com fluxo sanguíneo, a aquisição de imagem deve transcorrer em tempos inferiores a 0,1 s para que o movimento do sangue ou dos órgãos não degrade a imagem. Nenhum dos sistemas até aqui mencionados tem esta capacidade. Foram, então, desenvolvidos os tomógrafos de quinta-geração. Nestes, um canhão de elétrons emite elétrons em várias direções sobre um alvo côncavo, que emite, então, os raios X também em várias direções possibilitando tempos de aquisição na ordem de milissegundos.

Além desta classificação os tomógrafos de 3ª e 4ª geração também podem ser classificados como convencionais ou helicoidais (e ainda existem os helicoidais multi-cortes). Nos convencionais, a conexão física entre os cabos de alta tensão e o tubo não permite a rotação contínua do sistema em torno do paciente; a cada volta do tubo (que leva entre 2 e 4 s) é adquirida uma imagem tomográfica. A seguir o tubo interrompe a emissão de raios, enquanto a mesa avança para nova aquisição de imagem. Já nos helicoidais, com escovas conectando os cabos de alta tensão ao tubo, o movimento da mesa é contínuo, num só sentido (horário ou anti-horário) e simultâneo ao giro do tubo.

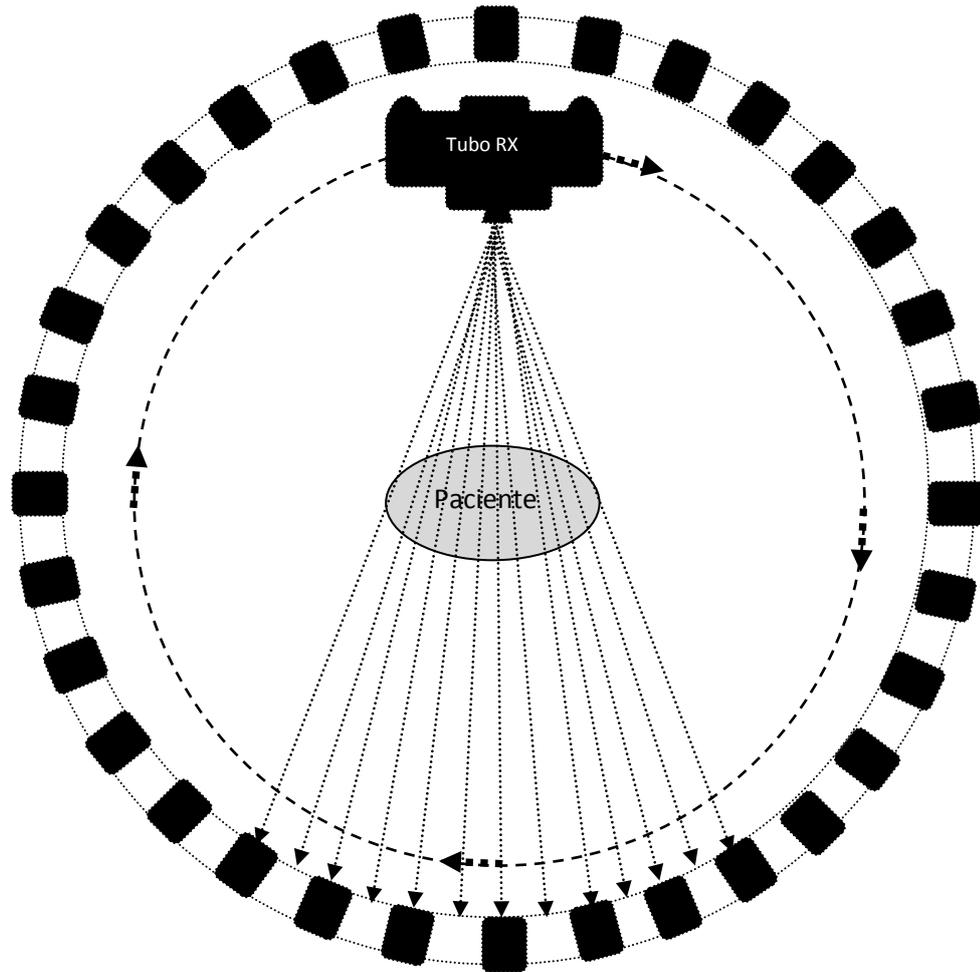


Figura 4.4: Tomógrafo de quarta geração.

D.4.8.5 Aplicações médicas com outras radiações: Fontes com núclídeos radioativos seladas (radioterapia) ou não (medicina nuclear e), gamacâmaras/cintiladores e tomógrafos pet

D.4.8.5.1 Medicina Nuclear diagnóstica

Diferentemente da radiologia diagnóstica com raios X, a medicina nuclear utiliza raios gama de elementos radioativos de meia vida curta que são ingeridos, inalados ou injetados no paciente e que, combinados com fármacos apropriados, se alojam em maior quantidade em órgãos específicos no corpo humano e de lá passam a emitir a radiação. Gamacâmaras então detectam a radiação e, por métodos computacionais, imagens do órgão em questão são formadas. Outra diferença entre os raios X convencionais e a Medicina Nuclear diagnóstica é que, enquanto os raios X geram imagens com informações de anatomia, a medicina nuclear fornece também informações de metabolismo e fisiologia (Okuno, 1998, p. 75).

O avanço mais recente da Medicina Nuclear Diagnóstica é a Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET). Um radiofármaco associado a um elemento radioativo de meia-vida muito curta produz pósitrons (decaimento β^+) que ao serem aniquilados com elétrons (tal qual os pósitrons decorrentes da produção de pares devido interação de raios X de alta energia com núcleos vistos na

seção D.2.1.6.2) produzem raios gama que são detectados em uma gamacâmara. O sistema de detecção destes fótons de raios gama é similar à tomografia convencional.

D.4.8.5.2 Medicina nuclear terapêutica

No tratamento de hipertireoidismo e de tumores na tireóide é comum o uso do Iodo 131 (em doses bem mais elevadas que quando do uso diagnóstico) em processo terapêutico, às vezes complementar a cirurgia, com a intenção de eliminar células tumorais.

O Samário 153 é utilizado para melhora da qualidade de vida de pacientes com metástases espalhadas pelo corpo. Embora não elimine o câncer, tem efeito de supressão das dores ósseas por ele causadas.

D.4.8.5.3 Radioterapia

Assim como a Medicina Nuclear Terapêutica, a radioterapia utiliza a radiação para a destruição de células cancerígenas. A distinção principal entre radioterapia e medicina nuclear é que a radioterapia somente se utiliza de fontes *seladas*, enquanto que as fontes da medicina nuclear são *não seladas*. Chamamos as fontes de seladas quando não entram em contato com o corpo humano. Como exemplo temos as fontes de cobalto de equipamentos de radioterapia que ficam blindadas em *cabeçotes* de chumbo. Um sistema mecânico abre uma *janela* quando da exposição, colimando a radiação à área de interesse.

Assim, enquanto que na radioterapia ocorre apenas exposição, na medicina nuclear acontece contaminação e exposição. Além disto, a radioterapia *in vivo* tem fim exclusivamente terapêutico, enquanto que a medicina nuclear pode ser utilizada para fins diagnósticos (predominantemente) e terapêuticos.

Além da Cobaltoterapia, como Teleterapia (exposição por fonte à distância) ainda existe a Radioterapia por raios X. Aceleradores Lineares são equipamentos que produzem raios X de alta energia (bem maior que os equipamentos de raios X convencional) e que estão, a passos largos, substituindo as fontes de Cobalto. Raios X de energia da ordem de equipamentos convencionais também já foram muito utilizados em tratamentos de cânceres de pele. Alguns aceleradores lineares, além de poderem produzir fótons de raios X também podem aproveitar as altas energias cinéticas imprimidas aos elétrons para, ao invés de *colidirem* com o alvo, incidirem diretamente no paciente para eliminação de células cancerígenas superficiais como as de cânceres de pele.

Atualmente, sem legislação sanitária regulamentar específica, procedimentos cirúrgicos invasivos podem ser seguidos de exposição em aceleradores lineares de fótons ou elétrons. Na radioterapia intraoperatória da mama, por exemplo, a paciente ainda aberta é levada ao acelerador para ser irradiada. Após o final da irradiação, a paciente retorna à sala cirúrgica para ser concluída a intervenção.

Outro procedimento invasivo que pode ser realizado na radioterapia é a **braquiterapia** onde pequenas fontes de radiação são colocadas em contato direto com o tumor. Fontes de Césio 137 e Irídio 192 são muito utilizadas neste tipo de tratamento.

A braquiterapia pode ser intersticial ou intracavitária isto é, injetada através de agulha perfurante ou colocada com aplicadores em uma cavidade do corpo. Na braquiterapia para tratamento de câncer do colo uterino, por exemplo, fontes radioativas são introduzidas no útero.

D.4.9 Referências

BRÜCKMANN, M. E.; FRIES, S. G. Radioatividade. *Textos de Apoio ao Professor de Física, n. 2*, Grupo de Ensino de Física, Instituto de Física, UFRGS, 1991.

BUSHONG, S. C. *Manual de radiología para técnicos*. (Traducción y producción editorial: Diorki Servicios Integrales de Edición). Madrid: Elsevier, 2004

CARLOS, M. T. Tomografia computadorizada: formação da imagem e radioproteção. Laboratório Nacional de Metrologia das Radiações Ionizantes (LNMRI). *In: Apostila do curso Tomografia computadorizada: Física da Imagem e Radioproteção*. Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), de 22 a 26 de julho de 2002, Rio de Janeiro.

HEWITT, P. G. *Física conceitual*. (Tradução: Trieste Freire Ricci e Maria Helena Gravina). 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MARTINS, R. de A. Como Becquerel não descobriu a radioatividade. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, Florianópolis, v.7, p. 27-45, 1990.

OKUNO, E. *Radiação, efeitos, riscos e benefícios*. São Paulo: Editora Harbra, 1988.

PENTEADO, P. C.; TORRES, C. M. A. *Física - ciência e tecnologia*, v. 3. São Paulo: Moderna, 2005.

QUINN, S. *Marie Curie: uma vida*. (tradução: Coutinho, S.). São Paulo: Scipione, 1997.

STRATHERN, P. *Curie e a radioatividade em 90 minutos*. (Tradução: Borges, M. L. X de A.). Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2000 (Coleção 90 minutos).