

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

Introdução à Física Moderna no
Ensino Médio através da Discussão do
Dualismo Onda-Partícula

Luciano Lewandoski Alvarenga

Porto Alegre
2008

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE FÍSICA

Programa de Pós Graduação em Ensino de Física

Mestrado Profissional em Ensino de Física

Introdução à Física Moderna no
Ensino Médio através da Discussão do
Dualismo Onda-Partícula

Luciano Lewandoski Alvarenga

*Dissertação de Mestrado realizada sob
orientação do Prof. Dr. Silvio Luiz Souza
Cunha, apresentada ao Instituto de Física da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.*

Porto Alegre, agosto de 2008.

***Aos meus amores,
Dâmaris e Caio***

AGRADECIMENTOS

A produção deste trabalho foi possível graças à contribuição de pessoas que, com paciência e apoio, souberam lidar com as várias etapas, problemas e percalços do mesmo, proporcionando encorajamento para que este pudesse ser concluído. Portanto, com muito carinho, agradeço:

- À minha esposa Dâmaris e ao meu filho Caio, por roubar-lhes tempo e atenção, para o qual dediquei ao projeto.
- Ao meu orientador Prof^o. Dr. Silvio Luis Souza Cunha, pelos diálogos, trocas de idéias, correções, incentivo e, principalmente, pelo conhecimento fornecido durante a elaboração do mesmo, bem como pela amizade que adquirimos durante o processo.
- À direção da Escola Técnica Santo Inácio, em especial, na pessoa da Sr^a Diretora Rosilene Mendes Zanini, que apoiou a aplicação do projeto, bem como sempre mostrou-se disposta a aceitar inovações no processo ensino-aprendizagem, fornecendo material e espaço físico para a realização do curso.
- A Sr^a Diretora Glacy Alice Zambom, por acreditar, desde o início, no meu trabalho e capacidade e pelo apoio pedagógico, sempre oportuno, na construção de uma base teórica na minha caminhada profissional.
- Aos colegas da primeira turma do Mestrado Profissional de Ensino de Física (MPEF/2002) que foram solidários em vários momentos de nossa jornada.
- Ao colega e professor Marcos Baptista Prates por sua amizade, contribuição e, acima de tudo, por sua força de vontade em querer vencer as dificuldades. Certamente, é digno de nota sua participação no processo deste mestrado e seu desempenho como educador deste país.
- Aos alunos do 2^o ano do ensino médio dos cursos de informática e eletrônica, da Escola Técnica Santo Inácio, por participarem deste projeto apenas com o interesse de aprender provando que o conhecimento ainda motiva muitas pessoas e que este será o grande diferencial para elas no futuro.
- Aos Professores Paulo Machado Mors e Eliane Ângela Veit por acreditarem que eu seria capaz de ingressar e produzir um bom trabalho neste mestrado.
- Ao amigo Leandro Gomes de Castro Filho pela ajuda prestada na elaboração do hipertexto como produto deste projeto.
- Ao Instituto de Física por proporcionar um ensino gratuito e de qualidade e apoiar pesquisas no ensino de Física.
- A Deus pela força de vontade, paciência e empenho que demonstrei durante todo o processo da finalização deste mestrado.

SUMÁRIO

Sumário	5
Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	9
Lista de Gráficos	10
Resumo	11
Abstract	12
I. Introdução	13
II. Revisão Bibliográfica	16
II.1. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.....	16
II.2. Física Moderna na Internet	18
II.3. A Física Moderna nos Livros Didáticos.....	20
III. Referencial Teórico	30
III.1. Aprendizagem Significante de Rogers.....	30
III.2. Aprendizagem Significativa de Ausubel.....	32
IV. A Proposta	34
IV.1. O Caráter Social da Física Moderna no Ensino Médio	34
IV.2. A Proposta: Instrumentalizar o Ensino de Física Moderna	35
IV.3. A Justificativa da Proposta.....	36
IV.4. Objetivos da Proposta.....	37
V. Estruturação do Curso	38
V.1. Organização do Curso	38
V.2. Cronograma	38
V.3. Objetivos do Curso	39
V.4. As Inscrições.....	40
V.5. Conteúdos Trabalhados.....	40
V.6. Metodologia.....	41
V.7. Ambiente de Trabalho.....	41
V.8. Materiais Utilizados	42

VI. Aplicação da proposta	44
VI.1 Descrição das Aulas Ministradas.....	44
VI.2 Análise dos Resultados e Depoimentos	68
VII. Produto Final	79
VII.1 Descrição do Hipertexto.....	79
VII.2 Animações	80
VIII Considerações Finais	83
Referências	85
Apêndices	92
Apêndice A – TEXTO: ABORDAGEM HISTÓRICA – DISCUSSÃO SOBRE A VERDADEIRA IDENTIDADE DA LUZ	93
Apêndice B – SOLICITAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO CURSO	100
Apêndice C – LISTA DE CHAMADA	103
Apêndice D – AVALIAÇÕES: PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE	105
Apêndice E – QUESTIONÁRIOS	116
Apêndice F – CERTIFICADO DE CONCLUSÃO	120
Anexos	123
Anexo A – Hipertexto: Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula	124
Anexo B – Autorização para uso de Simuladores	126

Lista de Figuras

Figura 01 - Sala de Projeção.....	42
Figura 02 - Laboratório de Informática.....	42
Figura 03 - Slide Tema da Primeira Aula Teórica.....	45
Figura 04 - Slide Final da Primeira Aula Teórica.....	46
Figura 05 - Slide Tema da Segunda Aula Teórica.....	47
Figura 06 - Tela de Simulador (Produção de Ondas).....	48
Figura 07 - Tela de Simulador (Reflexão e Refração).....	48
Figura 08 - Tela de Simulador (Difração).....	49
Figura 09 - Tela de Simulador (Interferência).....	49
Figura 10 - Tela de Simulador (Polarização).....	50
Figura 11 - Tela de Simulador (Padrões de Interferência).....	50
Figura 12 - Aula no Laboratório de Informática.....	51
Figura 13 - Tela de Simulador (Efeito Fotoelétrico).....	52
Figura 14 - Tela de Simulador (Conclusões de Lenard).....	52
Figura 15 - Tela de Simulador (Efeito Compton).....	52
Figura 16 - Apresentação do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton.....	53
Figura 17 - Slide Tema da Sexta Aula Teórica.....	53
Figura 18 - Slide sobre Apresentação do Efeito Compton.....	54
Figura 19 - Slide sobre as Idéias de Max Planck.....	55
Figura 20 - Tela de Simulador (Radiação Corpo Negro).....	55
Figura 21 - Tela de Simulador (Lei de Planck).....	56
Figura 22 - Tela de Simulador (Irradiação Térmica).....	56
Figura 23 - Tela de Simulador (Deslocamento de Wien).....	57
Figura 24 - Tela de Simulador (Exercícios Radiação Corpo Negro).....	57
Figura 25 - Slide Introdutório do Oitavo Encontro.....	58
Figura 26 - Comprovação Experimental da Hipótese de Louis de Broglie.....	58
Figura 27 - Slide Introdutório da Aula de Mecânica Quântica.....	59
Figura 28 - Slide sobre Densidade de Probabilidade.....	59
Figura 29 - Slide Introdutório do Nono Encontro.....	60

Figura 30 - Tela de Simulador (Modelo de Broglie)	61
Figura 31 - Tela de Simulador (Átomo de Bohr)	61
Figura 32 - Tela de Simulador (Experiência Fenda Dupla com Elétrons).....	62
Figura 33 - Interferômetro Mach-Zehnder (Experiência com Luz Laser).....	63
Figura 34 - Interferômetro Mach-Zehnder (Experiência com Fótons Individuais)	63
Figura 35 - Experimento Fenda Dupla (Fótons Individuais)	64
Figura 36 - Interferômetro de Mach-Zehnder (Fótons com Detector de Passagem).....	65
Figura 37 - Experimento Fenda Dupla (Elétrons Individuais)	65
Figura 38 - Experimento Fenda Dupla (Elétrons Individuais com luz acesa)	66
Figura 39 - Estudante Realizando o Teste.....	67
Figura 40 - Grupo de Trabalho.....	67
Figura 41 - Página Inicial do Hipertexto Gerado	80
Figura 42 - Simulação do Efeito Fotoelétrico	80
Figura 43 - Simulação de uma Célula Fotoelétrica	81
Figura 44 - Simulação da Polarização da Luz	81
Figura 45 - Simulação Problema da Medição na Mecânica Quântica	81
Figura 46 - Simulação da Fenda Dupla com Elétrons	82

Lista de Tabelas

Tabela 01 - Resultado da Quantidade de Palavras Transcritas pelos Estudantes – 1	69
Tabela 02 - Resultado da Quantidade de Palavras Transcritas pelos Estudantes – 2	70
Tabela 03 - Resultado da Quantidade de Palavras Transcritas pelos Estudantes – 3	71
Tabela 04 - Controle de Faltas.....	75

Lista de Gráficos

Gráfico 01 - Número de Acertos por Estudante – 1	72
Gráfico 02 - Número de Acertos por Estudante – 2	72
Gráfico 03 - Número de Acertos por Estudante – 3	73
Gráfico 04 - Número de Acertos por Estudante – 4	73
Gráfico 05 - Número de Acertos por Questão – 1	74
Gráfico 06 - Número de Acertos por Questão – 2	74
Gráfico 07 - Número de Acertos por Questão – 3	74

RESUMO

Este trabalho relata a experiência obtida com alunos de ensino médio de um curso de caráter extracurricular onde foram tratados temas tais como: 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 e Elétrons, tendo como objetivo principal da proposta introduzir alguns conceitos fundamentais de Física Moderna, especialmente os princípios básicos da Mecânica Quântica, a partir da discussão do dualismo onda-partícula. Estes tópicos foram, em primeiro lugar, apresentados e discutidos com os alunos em sala de aula e depois, trabalhados no laboratório de informática, onde utilizou-se simuladores e programas de computador para auxiliar no processo de aprendizagem. A proposta foi aplicada nos 2^{os} anos do ensino médio do curso de informática e eletrônica da Escola Técnica Santo Inácio, situada na periferia da cidade de Porto Alegre. O trabalho foi embasado na Teoria de Aprendizagem Significante de Rogers e na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. Para a avaliação do processo foram aplicados um pré-teste e um pós-teste, de mesmo teor, e solicitado um depoimento escrito sobre o interesse dos alunos nos tópicos abordados. O curso serviu de laboratório para a produção de um hipertexto, gravado em CD-ROM e disponibilizado na rede mundial de computadores, que poderá ser utilizado em cursos de ensino médio com o objetivo de introduzir Tópicos de Física Moderna, auxiliando professores e alunos no processo ensino-aprendizagem.

ABSTRACT

This paper reports the experience obtained with high school students in extracurricular activities where the following issues of Modern Physics topics were considered: photoelectric effect, Compton effect, blackbody radiation, diffraction and interference of waves, the uncertainty principle and the interpretation of the double slit experiment with Photons and Electrons. The main objective of the proposal was to introduce some fundamental concepts of Modern Physics, especially the basic principles of Quantum Mechanics, from the discussion of wave-particle duality. These topics were first presented and discussed with students in the classroom and then worked in the computer laboratory, where simulators and computer programs were used to assist in the learning process. The proposal was implemented in the classes from the second year of Computer and Electronics Courses of the Santo Inácio Technical School, located in Porto Alegre city. The study was based on the Theory of Significant Learning of Rogers and the Theory of Meaningful Learning of Ausubel. A pre-test and a post-test with the same content have been implemented for the evaluation of the learning process, as well as a written testimonial on the students' interests in the worked topics. The course served as a laboratory for the production of a hypertext, recorded on CD-ROM, which can be used as support material to assist teachers and students in the teaching-learning process.

I. INTRODUÇÃO

O mundo, desde o início do século XX, está experimentando várias mudanças tecnológicas que acarretam comodidade e sofisticação à vida para a maioria das pessoas. Entretanto, por trás de tanto progresso, há diversas teorias e leis físicas que promovem novos modelos para a explicação da natureza, tentando chegar, o mais próximo possível, da realidade, ou seja, do melhor modelo. Isto é corroborado através de experimentos que, por sua vez, proporcionam pesquisa para a produção da alta tecnologia que acabamos de citar. Como exemplo, temos a Teoria da Relatividade Especial ou Restrita, a Física de Partículas, a Física Nuclear e a Mecânica Quântica. Esta última tem proporcionado avanços nos campos da microeletrônica, biologia, informática, medicina, telecomunicações e na produção de energia em grande escala. As inovações tecnológicas em que se utiliza a Mecânica Quântica vão desde o avanço nas pesquisas com laser e suas aplicações até a codificação do gene humano (Freire Jr. e Carvalho Neto, 1997). A evolução dos *micro-chips* proporcionou a confecção de circuitos cada vez menores e com maior velocidade de transmissão e, futuramente, vamos contar com o chamado “computador quântico”, que revolucionará o setor da informática.

Diante desse quadro, empolgante e desafiador, não é difícil perceber o papel fundamental que a Física no ensino médio tem, pois deveria ser responsável por despertar a atenção dos estudantes para estes campos de pesquisa e suas respectivas oportunidades. Ademais, é uma questão explicitamente social, pois a perpetuação do conhecimento e a evolução tecnológica requerem, em primazia, o elemento humano capaz de interagir e interferir, cada vez mais, sobre os modelos criados pela ciência. É este elemento que deve contribuir para que haja uma futura inovação tecnológica, proporcionando uma melhor qualidade de vida para a sociedade como um todo. Portanto, não é a sala de aula o melhor lugar para que ocorra tal despertar de interesse? Não são os professores de Física os agentes mais adequados para serem porta-vozes desta realidade?

Os profissionais que trabalham com o ensino de Física devem ser “inovadores”, não no sentido de experimentarem teorias de ensino revolucionárias ou fórmulas teorizadas de aprendizagem, mas serem promotores de uma física ativa, integrante direta na evolução tecnológica, produtora de conhecimento e, acima de tudo, de modernização. Deve-se contextualizar a Física, mostrando seu papel científico, social e prático. As atividades didáticas produzidas devem ser diversificadas, contemplando temas variados, métodos modernos e consignando teorias de aprendizagem factíveis com a realidade escolar. Os alunos precisam saber o papel fundamental que a Física desempenha o que justifica a inserção de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio como estímulo a curiosidade, despertando interesse para futuras pesquisas, fazendo com que a aprendizagem seja realmente significativa.

Ademais, contemplando tal necessidade, as Novas Leis de Diretrizes e Bases para a Educação Nacional (LDB), através do Ministério da Educação, *prevê uma educação formativa, voltada para a realidade e capacitando os indivíduos para interagir com a realidade.* É premente uma

educação com aprendizagem significativa, o que abrange estratégias diversificadas, metodologia adequada, currículo atualizado e, acima de tudo, qualificação profissional.

No entanto, percebemos que o quadro real no ensino de Física está longe do ideal, principalmente no que tange à introdução de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. Não nos cabe aqui apontar os motivos pelos quais se deixa de trabalhar com tais temas: inadequação curricular, falta de preparo do professor, falta de tempo para elaborar as aulas devido a elevada carga horária, adequação com o vestibular, seqüência do livro didático, desinteresse ou outro motivo. Vamos mostrar a experiência que tivemos no que tange a este assunto, não como solução, mas como incentivo, pois julgamos interessante provocar o lado criativo e o espírito inovador de vários colegas da área de Física, talvez os motivando a também aplicar projetos e utilizar recursos que outrora não estavam estimulados a usar.

Trabalhamos alguns Tópicos de Física Moderna e Contemporânea com alunos do 2^o ano do ensino médio do curso de informática e eletrônica, da Escola Técnica Santo Inácio. Para tanto, foi aberto um curso extracurricular, depois do horário normal de aula, com o título: “*Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula*”, dividido em módulos de apresentação, o qual tinha como ponto focal responder a pergunta: “*A Luz é onda ou partícula?*”. Concernente a esta pergunta, foi desenvolvido material didático, ora provando que a luz é onda, ora mostrando que é partícula, o que serviu de porta de entrada para a Mecânica Quântica.

Para motivar o processo ensino-aprendizagem dos alunos fizemos uso de vários simuladores encontrados na internet, como recurso didático, as chamadas novas tecnologias, além de programas que reproduzem experimentos avançados, fora do alcance dos laboratórios tradicionais de Física.

Objetivando incentivar outros professores a trabalhar com Tópicos de Física Moderna, elaboramos um material didático, em forma de hipertexto e gravado em CD-ROM que será disponibilizado para pesquisa tanto dos professores como de alunos do ensino médio.

No capítulo (II) faremos uma revisão da literatura enfocando os trabalhos que inserem Física Moderna no Ensino Médio, bem como a utilização de novas tecnologias, principalmente a internet, neste ramo de estudo. Também será realizado um levantamento dos livros didáticos utilizados e comercializados para o ensino médio, acerca de como estes abordam Tópicos de Física Moderna.

Para nortear nosso trabalho, conforme detalhado no capítulo (III), foi utilizado como referencial teórico, as teorias de aprendizagem de Rogers e Ausubel. A primeira, enfocando uma aprendizagem significativa, onde o objeto de estudo tem significado, isto é, é relevante para o aluno, valorizando o indivíduo. Nesta teoria, o professor tem o papel de facilitador do processo de aprendizagem, apontando o objeto de estudo e fazendo uso dos recursos disponíveis para facilitar aquilo que se aprende. A segunda mostra como a nova informação relaciona-se com a estrutura cognitiva do indivíduo, ou seja, a interação do conhecimento presente com o conhecimento adquirido.

A proposta de trabalho, a justificativa desta proposta e seus objetivos fazem parte do capítulo (IV), deste trabalho. Está incluso, também, neste capítulo, um tópico sobre o caráter social da Física Moderna no Ensino Médio, ressaltando a importância na formação cognitiva de estudantes da escola

média, para que estes possam tomar gosto pela ciência e, futuramente, intervir (fazer uso da ciência) para o bem estar da sociedade em geral.

No capítulo (V) detalhamos o que foi abordado no curso extracurricular, ou seja, os conteúdos desenvolvidos, os materiais utilizados, o cronograma, os programas utilizados, os recursos didáticos, os ambientes de trabalho, as situações importantes e a metodologia empregada. Logo a seguir, no capítulo (VI), apresentamos a aplicação da proposta de trabalho, detalhando o que foi trabalho em cada encontro, pormenorizando situações e dificuldades encontradas, bem como mostrando simulações utilizadas para demonstrar fenômenos físicos. Além disto, destacamos, de maneira qualitativa, sem pretensões investigativas, os resultados obtidos através de três referências avaliadores: *primeiro*, um pré-teste e um pós-teste, *segundo*, os comentários referidos pelos educandos durante o processo e *terceiro*, nossa impressão pessoal no decorrer do curso que julgamos necessárias, visto a complexidade do assunto e o desenvolvimento das atividades propostas no curso. Outro aspecto que abordaremos são os resultados obtidos com a aplicação deste projeto e a conclusão que chegamos sobre o mesmo.

Aquilo que chamamos de produto final, é destacado no capítulo (VII), ou seja, como o material didático foi elaborado, qual sua finalidade e como pode ser usado por colegas da área de Física ou alunos do ensino médio, não como solução para a falta de inserção de Física Moderna no ensino médio, mas como contribuição para ajudar a introduzir este assunto tão importante no contexto social e científico.

Por fim, no capítulo (VIII), transcrevemos as conclusões finais desta dissertação e nossa apreciação pessoal sobre o trabalho realizado, desde seu planejamento, execução e aplicação para a produção do material de apoio criado para contribuir com a inserção de Física Moderna no ensino médio.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresentamos uma revisão bibliográfica sobre a inserção de Tópicos de Física Moderna no ensino médio em artigos de divulgação científica, trabalhos acadêmicos e nos livros didáticos, procurando dar ênfase a propostas que resultaram em aprendizagem cognitiva comprovada e na produção de material instrucional para posterior aplicação em sala de aula com os discentes. Também apresentamos estudos publicados em artigos, sobre a utilização de novas tecnologias ligadas à informática, principalmente a Internet, na aplicação direta em sala de aula, como instrumento didático no processo ensino-aprendizagem. Por fim, expomos um levantamento sobre como os livros didáticos, utilizados e comercializados para o ensino médio, abordam a Física Moderna explorando aspectos relevantes dos mesmos e a sistemática de apresentação dos assuntos (temas abordados, forma de apresentação, ordem de apresentação, limites entre Física Clássica e Física Moderna, etc).

II. 1 – Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

A inserção de Física Moderna e Contemporânea na escola de nível médio é uma necessidade cada vez mais premente, visto sua relevância na atual produção tecnológica que a sociedade humana apresenta. Precisamos de indivíduos capazes e criativos para lidar com tal conhecimento, fazendo uso dele em sua plenitude e aplicando na produção e confecção de tecnologia para o bem-estar social. *É imprescindível o estudante do ensino médio conhecer os fundamentos da tecnologia atual já que atua em sua vida e certamente definirá seu futuro profissional. É necessário fazer a ponte entre a física da sala de aula com a física do cotidiano (computador, mostradores de cristal líquido, leitor óptico, xerox, impressora a laser, portas e torneiras automáticas, controle remoto, laser na medicina, fibras óticas, etc)* (Valadares e Moreira, 1998). Também é necessário, cada vez mais, dar a conhecer a Física elaborada no século XX para que os jovens possam tomar gosto pela ciência. Uma das funções do professor é despertar o interesse dos estudantes, mostrando-lhes que a Física é uma ciência atuante presente no cotidiano e responsável por inúmeras contribuições tecnológicas que fazem parte da vida das pessoas. *É necessário atrair jovens à carreira científica* (Ostermann e Cavalcanti, 1999).

Neste sentido, tem aumentado o número de pesquisadores e profissionais de ensino interessados numa remodelação curricular na disciplina de Física e há uma maior conscientização da importância de inserir Tópicos de Física Moderna no Ensino Médio (Ostermann e Cavalcanti, 1999). Referente a isto, existem vários trabalhos que exploram tais temas, quer na produção de material instrucional (artigos, livros, recursos eletrônicos, recursos audiovisuais, produção de experimentos de baixo custo, etc), quer na reorganização do currículo de Física propriamente dito, como também analisar o perfil epistemológico dos estudantes, apresentando a Física como “forma de cultura”, obtendo-se resultados satisfatórios, conforme apontam Pinto e Zanetic (1999).

Há trabalhos que exploram meios de comunicação para a inserção de alguns Tópicos de Física Moderna, por exemplo, textos de divulgação científica, com atividades previamente planejadas para discussão e análise em sala de aula com estudantes secundaristas (Kawamura e Silva, 2001).

Também, debate-se muito sobre a reestruturação curricular, privilegiando temas atuais e relevantes. A exemplo disto, Terrazzan (1992) afirma que o currículo de Física, no ensino médio, é pobre e muito semelhante, tendo uma seqüência lógica (Mecânica, Física Térmica, Ondas, Ótica e Eletromagnetismo) ditada pelos manuais de Física. Desta forma, exclui-se toda a construção científica produzida no século XX, como se não existisse ou pudesse ser ignorada. Neste mesmo foco, há trabalhos que incentivam a introdução gradual de alguns aspectos de Mecânica Quântica no currículo da escola secundária, discutindo os limites entre a Física Clássica e a Mecânica Quântica, utilizando o exemplo prático e simples como o movimento oscilatório de uma mola. A partir daí, introduz-se o conceito quântico de ação e a constante de Planck de maneira qualitativa (Cuppari et al, 1997).

Ainda outro estudo mostra a estratégia utilizada para discutir de maneira formal e conceitual tópicos de Mecânica Quântica, não fazendo uso de formalismo matemático ou de sistemas complexos, mas utilizando experimentos, como polarização linear de fótons em cristais (polaróides), para a análise e elaboração de conceitos e idéias por parte dos estudantes (Michellini et al, 2000).

Há trabalhos que utilizam programas que simulam fenômenos físicos, como o interferômetro de Mach-Zehnder, onde é possível produzir o experimento da interferência com ondas clássicas, fótons individuais e partículas elementares com elétrons, dando ênfase especial à Interpretação dos Muitos Mundos ou Universos Paralelos, estando este presente nos meios de comunicação, sendo importante contribuição para formação inicial e continuada de professores de Física, quando se busca uma discussão mais conceitual sobre o tema (Ostermann e Prado, 2005).

Outro fator importante para a inserção de Tópicos de Física Moderna no ensino médio é a qualificação profissional dos professores de Física, investimento apropriado para que haja uma maior conscientização para a aplicação de projetos educacionais significativos e inovadores, privilegiando novas técnicas, ações diversificadas e a contemplação de um currículo atual, socialmente significativo, e que favoreça a inserção destes tópicos nas aulas de física.

Tomando uma posição com relação à atualização docente, é relevante um maior investimento em cursos de aperfeiçoamento, principalmente no ensino de Física, revendo conceitos epistemologicamente arraigados, dando a conhecer concepções alternativas na área e introduzindo métodos e materiais para propiciar um resultado de qualidade no processo ensino-aprendizagem. É preciso aproximar o professor secundarista da Universidade contribuindo para a valorização do ensino médio, trabalhando conjuntamente em projetos potencialmente relevantes no universo escolar. É preciso qualificar o professor para proporcionar um ensino mais significativo. Neste particular, destacamos o trabalho realizado por Ostermann e colaboradores na produção de material didático para o uso do professor, em sala de aula, bem como na preocupação em elaborar materiais de consulta, como por exemplo, textos didáticos, introduzindo Tópicos de Física Moderna. Podemos citar, o texto sobre “Supercondutividade”, um instrumento potencialmente significativo nas aulas de física (Ostermann et al, 1998). Há, também, oficinas oferecidas para professores no desenvolvimento de materiais didáticos de baixo custo, o que condiz com a realidade brasileira, principalmente, pelas precárias condições de trabalho encontradas, em geral, nas escolas do país. Com uma metodologia

adequada, podem-se realizar inúmeros experimentos, abrangendo a Física Moderna, para a compreensão de fenômenos físicos importantes, como difração e interferência, o que fornece subsídios para a discussão e análise do comportamento dual da luz (Cavalcante e Tavolaro, 2001). Tais oficinas estimulam a inserção de métodos diversificados dentro da sala de aula, valorizando a ação pedagógica, estimulando a curiosidade e a potencialidade dos discentes.

Explorando a mesma temática, outros artigos estimulam a confecção de protótipos nas aulas de Física pelos estudantes, também com material de baixo custo, para a compreensão de fenômenos ligados ao cotidiano. Tais protótipos são descritos em manuais ou artigos de divulgação científica, especificando-se o procedimento, o material e a proposta de trabalho. Com isto, podem-se trabalhar assuntos como: difração de um feixe de laser, efeito fotoelétrico, radiação do corpo negro, quantização, dualidade onda-partícula (Cavalcante et al, 1999; Valadares e Moreira, 1998; Cavalcante e Tavolaro, 2002).

No entanto, são muitos os trabalhos que apontam para esta tendência de qualificar o currículo de Física, por introduzir a Física Moderna nas salas de aula de ensino médio, mas são discretas as contribuições práticas, ou seja, *são extremamente escassos os materiais escritos em língua portuguesa, o que, do ponto de vista do ensino médio brasileiro, é um forte obstáculo para a atualização curricular* (Ostermann e Cavalcanti, 1999). Entretanto, podemos citar a elaboração de um pôster para o estudo de Partículas Elementares e Interações Fundamentais (Ostermann e Cavalcanti, 1999). Há também trabalhos impressos, com roteiros de variados experimentos sobre a natureza da luz e o comportamento dual da matéria que podem ser adotados e utilizados em cursos de nível médio (Tavolaro e Cavalcante, 2003). Não podemos deixar de mencionar os recursos eletrônicos disponíveis na Internet (simuladores, applets-java, sites, etc) ou programas interativos comercializados que simulam experimentos tecnicamente avançados. Tais simuladores são utilizados para introduzir experimentos que, do ponto de vista econômico, seriam impraticáveis nos laboratórios de escolas deste país. Cavalcante e Tavolaro (2001) utilizaram tais programas, numa Oficina de Física Moderna para inserção no ensino médio, trabalhando assuntos como: o Efeito Fotoelétrico e a Dualidade da Matéria.

Portanto, apesar do empenho de muitos pesquisadores em ensino de Física, são escassos os materiais didáticos, em língua portuguesa, para trabalhar Tópicos de Física Moderna em sala de aula. Isto é uma evidência de quão amplo é o assunto e de quanto ainda pode ser explorado e realizado no âmbito de pesquisa científica e produção de material didático instrucional, para melhorar a qualidade do ensino de Física nas escolas de ensino médio do país.

II. 2 - Física Moderna na Internet

Devido ao sucateamento e a falta de recursos financeiros para maior investimento em educação, a maioria das escolas, tanto privadas como públicas, não apresentam laboratórios adequados para o ensino prático de Física. Outras, nem mesmo possuem espaço físico (sala de aula para prática de ciências) e quando possuem, os materiais estão depredados ou reduzidos a fragmentos, impossibilitando a prática docente. Também, há pouco estímulo, dentro das instituições de ensino, para a aquisição de material didático, bem como, a adoção de uma política regular que

permita, simultaneamente, aulas teóricas e práticas de Física. São muitas as dificuldades encontradas para se ministrar aulas práticas de laboratório nas escolas de nível médio. O resultado disto é apontado por Trindade e Fiolhais (2003):

O elevado número de reprovações a Física, nos vários níveis de ensino e em vários países, mostra bem as dificuldades que os alunos encontram na aprendizagem desta ciência. As causas deste problema não estão devidamente esclarecidas. E, por isso, as soluções também não estão. Contudo, entre as razões do insucesso na aprendizagem em física, são em geral apontados aos professores métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagem mais recentes e a não utilização dos meios mais modernos, enquanto aos alunos são apontados insuficiente desenvolvimento cognitivo, deficiente preparação matemática e pré-existência de concepções relacionadas com o senso comum e não com a lógica científica”.

(Trindade e Fiolhais, 2003)

Quando o assunto é inserir Física Moderna, no ensino médio, através de práticas experimentais a situação é agravada, pois os recursos são escassos, os custos dos equipamentos são elevadíssimos, além de se necessitar pessoal especializado para manusear tais equipamentos (Córdova et al, 1992).

No entanto, enquanto que os laboratórios de Física, em instituições de ensino médio, estão defasados e destituídos de uma política educacional, cresce o interesse e investimento no setor da informática. As escolas, amiúde, possuem laboratórios de informática interligados a rede mundial de computadores (Internet). Tal realidade é apontada como mais uma possibilidade a serviço da educação, proporcionando a crianças e jovens, um meio diversificado no processo ensino-aprendizagem, explorando suas potencialidades e seu uso real (Rosa, 1995).

Entretanto, é importante atrelar a utilização de computadores a resultados de aprendizagem, não fazendo uso de maneira indiscriminada dos mesmos, mas associado a um projeto educacional que justifique sua inserção na escola e o investimento em *softwares* didáticos e máquinas mais sofisticadas (Rosa, 1995). Além disto, é necessário atrelar a utilização de recursos computacionais no ensino de Física a uma teoria de aprendizagem para dar sustentação teórica à prática adotada com os alunos. Neste sentido, Nogueira et al (2000) adotam uma abordagem Ausubeliana, isto é, baseiam-se numa perspectiva de aprendizagem significativa em que há relação entre a nova informação com a estrutura de conhecimento do indivíduo (Moreira, 1999). Tal posição pedagógica é indispensável para nortear o trabalho do professor em sala de aula, bem como, ajusta-se com as novas diretrizes de uma educação moderna e inovadora.

Como já vimos, o computador é mais um recurso à disposição do processo ensino-aprendizagem. A maioria dos artigos faz referência ao uso de simuladores na abordagem de Tópicos de Física Moderna (Córdova et al, 1992; Cavalcante et al, 2001; Trindade e Fiolhais, 2003). Tais programas constituem uma ferramenta apropriada, pois simulam experimentos, proporcionando a

visualização de efeitos físicos que, na prática, seriam inviáveis de serem observados, principalmente, em escolas de ensino médio, devido às precariedades já mencionadas. Mendes Jr. e Domingues (2003) enfatizam a disponibilidade de programas, livres e gratuitos, na Internet. Estes proporcionam o desenvolvimento de atividades de pesquisa como também a produção de materiais (produtos) de ensino (Mendes Jr. e Domingues, 2003). Ainda com relação ao uso de simuladores, Rosa (1995) chama atenção sobre dois tipos: estáticos e dinâmicos. O primeiro refere-se à observação do que acontece e o segundo cabe ao aluno a elaboração de um modelo explicativo do fenômeno e sua implementação (Rosa, 1995).

Além dos simuladores, Rosa (1995) menciona as potencialidades e várias formas de uso do computador: coleta de dados em tempo real, instrução assistida por computador, administração escolar e estudos de processos cognitivos. Trindade e Fiolhais (2003) reforçam as várias maneiras que o computador pode ser usado no ensino de ciências, frisando que este diversifica o processo educativo (Trindade e Fiolhais, 2003).

No entanto, o computador por si só não garante que haja aprendizagem, qualquer que seja o modo de utilização. Rosa (1995) chama a atenção de que *os computadores estão sendo utilizados sem que haja uma preocupação com os resultados obtidos e sem que exista um projeto educacional embasado em alguma teoria de aprendizagem que justifique a introdução destes equipamentos na escola*. Falta uma política educacional, um projeto coerente para que o trabalho no laboratório de informática tenha resultados e, por conseqüência, justifique o investimento em equipamento e pessoal. Portanto, é importante um estudo de como o computador pode ser útil no processo ensino-aprendizagem e obter resultados comprovados de que os métodos aplicados são eficazes e produzem uma aprendizagem significativa.

Certamente, com o avanço tecnológico, cada vez mais o computador será explorado, diversificando o trabalho em sala de aula. Cavalcante et al (2001) afirmam que os recursos computacionais disponíveis na Internet ajudam no entendimento de Tópicos de Física Moderna. Hoje, os professores de Física têm à sua disposição uma variedade de instrumentos para inserir a Física Moderna em sala de aula, pois além dos recursos computacionais serem acessíveis, os custos não são elevados e a maneira diversificada na abordagem dos conteúdos, estimulam a curiosidade e a atenção dos estudantes.

II. 3 – A Física Moderna nos Livros Didáticos

Vamos analisar, nesta parte, como os livros didáticos de Física adotados e comercializados para o ensino médio, abordam Tópicos de Física Moderna. A intenção não é criticar ou fazer sugestões sobre os mesmos, mas apenas descrever o que é e como é abordado e discutido a Física Moderna.

Portanto, vamos descrever, por autor, o que já foi produzido sobre Tópicos de Física Moderna para o ensino médio, analisando as edições mais recentes, bem como, livros que tratam apenas deste assunto. Ademais, Moreira e Ostermann (2000) apresentam a análise de alguns livros-didáticos, salientando a distribuição e os conteúdos trabalhados neste ramo da Física.

II.3.1 - Física – Alberto Gaspar. 1. ed. V.3. Editora Ática, 2000, 448p.

Neste livro a partir do capítulo 11, o autor aborda de maneira qualificada alguns Tópicos de Física Moderna. A linguagem é simples e não há matemática pesada. Contém algumas notas com inserções históricas sobre determinados assuntos e experimentos marcantes, como também a biografia de alguns físicos famosos. O livro é bastante ilustrado, contém várias figuras, o que facilita a compreensão dos assuntos. Há, em capítulos de Física Clássica, notas com comentários sobre Física Moderna, ampliando o grau de explicação sobre determinado assunto. No entanto, devemos apontar as notas sobre: Aprofundamento, Cotidiano, Gramática de Física e Aplicações, que contextualizam os conteúdos trabalhados.

Alguns conteúdos, de Física Moderna, abordados nesse livro são:

- Fótons e Radiação Eletromagnética
- Teoria da Relatividade Especial
- Dualidade Onda-Partícula
- Raios X e Radioatividade
- O Átomo de Bohr e o Espectro da Radiação Térmica
- A Difração dos Raios X
- Mecânica Quântica: As Ondas de Matéria, O Princípio da Incerteza, A Mecânica Ondulatória e o Princípio da Exclusão
- Energia Nuclear
- A Física de Partículas

II.3.2 - Física 3 – Cabral e Lago – 1.ed. V.3. Editora Harbra, 2002, 538p.

No capítulo 11, deste volume, os autores abordam sobre ondas eletromagnéticas, introduzindo o assunto historicamente e culminando com o trabalho de Maxwell. Este livro chama a atenção devido a dois aspectos: o primeiro, devido à apresentação de cada assunto, trazendo um resumo, os objetivos a serem alcançados, os pré-requisitos e as grandezas e unidades a serem trabalhadas; o segundo aspecto é que em cada capítulo há um box com o título: “*Isto tem utilidade?*”, fazendo uma aplicação tecnológica do assunto abordado, contextualizando os conteúdos. Há pouco apelo matemático e a linguagem utilizada é acessível, bem como, apresenta-se muito bem ilustrado.

Os conteúdos apresentados de Física Moderna são:

- Ondas Eletromagnéticas e o Trabalho de Maxwell
- Efeito Doppler e a Constante de Hubble
- Interação da Radiação Eletromagnética com a Matéria
- Surgimento da Teoria Quântica

- Quantização
- Radiação do Corpo Negro
- Efeito Fotoelétrico
- O Átomo de Bohr
- O Espectro dos Elementos
- Dualidade Onda-Partícula
- Dualidade da Matéria
- Teoria da Relatividade Especial
- Tópicos de Cosmologia

II.3.3 - *Física – História e Cotidiano* – Bonjorno e Clinton. Vol. único. Ed. FTD, 2004, 672p.

Um dos livros mais utilizados no ensino médio, nas escolas brasileiras, até pouco tempo atrás não continha nenhum Tópico de Física Moderna. No entanto, a versão publicada em 2004, contempla esta parte da Física. Neste volume único, há temas resumidos de alguns tópicos, explorando a dedução de algumas expressões matemáticas. No final de cada capítulo, existe um texto relativo à história da Física ou a alguma aplicação da Física no cotidiano (contextualização). O volume contém bons exercícios para se trabalhar com os alunos.

Os assuntos desenvolvidos são:

- Teoria da Relatividade (ênfase matemática)
- Algumas Idéias de Física Quântica
- Efeito Fotoelétrico
- Efeito Compton
- Dualidade Onda-Partícula
- Modelo Atômico de Bohr e Modelo Atual
- Princípio da Incerteza
- Radioatividade
- Fusão e Fissão Nuclear

II.3.4 - *Tópicos de Física 3* – Gualter, Newton e Helou. 15^a ed. V.3. Saraiva, 2001.

Este volume apresenta alguns Tópicos de Física Moderna abordados de maneira resumida e conceitual, não carregando na matemática. Possui ilustrações e figuras e apresenta uma seção “leituras”, para mostrar aplicações de alguns dos conteúdos apresentados, ou ainda, evidências práticas da matéria (Contextualização dos Conteúdos).

Apresenta a seguinte distribuição dos conteúdos:

- Noções de Física Quântica
- Efeito Fotoelétrico
- A Dualidade da Luz
- O Modelo Atômico de Bohr
- Análise Espectral
- Teoria da Relatividade Especial
- Comportamento Ondulatório da Matéria

II.3.5 - *Os Fundamentos da Física* – Ramalho, Nicolau e Toledo. 8.ed. V.3. Moderna, 2003, 468p.

Este volume possui vários Tópicos de Física Moderna, sendo que, a partir do capítulo 18 tem início à parte 4 com a teoria da relatividade especial. No corpo dos três volumes, tem algumas menções sobre Tópicos de Física Moderna. Por exemplo, na leitura do capítulo 14, apresenta o tema, supercondutores. Há também uma seção com “História da Física”, abrangendo detalhes sobre a vida e obra de alguns físicos. O livro é bastante ilustrado e contém equações matemáticas pertinentes ao assunto. O livro possui vários exercícios de fixação para o trabalho em sala de aula.

Este exemplar possui os seguintes Tópicos de Física Moderna:

- Teoria da Relatividade Especial
- Física Quântica
- Radiação do Corpo Negro
- Efeito Fotoelétrico
- Átomo de Bohr
- Dualidade Onda-Partícula
- Princípio da Incerteza
- Física Nuclear
- Partículas e Antipartículas
- Radioatividade
- Fusão e Fissão Nuclear
- Evolução Estelar

II.3.6 - *Faces da Física* – Carron e Guimarães, 1.ed. Volume Único. Moderna, 1999, 672p.

Este livro apresenta apenas dois capítulos sucintos sobre Física Moderna, abrangendo pequenos pormenores sobre o assunto. O número de figuras é reduzido, não fazendo aplicação dos conteúdos, isto é, não apresenta notas contextualizando os conteúdos.

Os temas abordados são:

- A Radiação do Corpo Negro
- O Efeito Fotoelétrico
- A Teoria da Relatividade (noções)
- Radioatividade
- Fissão e Fusão Nuclear

II.3.7 - Física – Ciência e Tecnologia – Nicolau, Penteado, Toledo e Torres, Volume Único. Moderna, 2001, 665p.

Neste volume único, são trabalhados tópicos de Física Moderna com uma linguagem acessível aos alunos e com muitas gravuras e ilustrações. Os autores usam da Matemática com algumas deduções de expressões matemáticas. No entanto, chama a atenção notas contidas nos capítulos sobre: Aplicações Tecnológicas, Ciência, Tecnologia e Sociedade (contextualização) e “O Que Diz a Mídia!”, referindo-se, este último, a reportagens sobre Física Moderna vinculadas em jornais ou revistas de acesso popular (ex: comunicação quântica). Outro ponto focal do livro são as sugestões de leitura ao final de cada capítulo, indicando aos estudantes outras fontes de pesquisa. Também, o livro aborda noções de teoria da relatividade geral, algo pouco explorado por outros autores e tem a preocupação, evidente, sobre a questão ambiental, quando trata da fissão nuclear e o lixo resultante deste processo.

O livro aborda os seguintes Tópicos de Física Moderna para o ensino médio:

- Teoria da Relatividade Especial
- Noções da Teoria da Relatividade Geral
- Mecânica Quântica
- Radiação do Corpo Negro
- Efeito Fotoelétrico
- Modelo Atômico de Bohr e o Átomo de Hidrogênio
- A Dualidade Onda-Partícula
- O Princípio da Incerteza
- Radioatividade
- Fissão e Fusão Nuclear
- Breves Tópicos sobre Evolução Estelar
- Noções de Cosmologia
- Forças Fundamentais da Natureza e Partículas Fundamentais.

- Matéria e Antimatéria

II.3.8 - *Imagens da Física* – Ugo Amaldi. Scipione, 1995, 536p.

Este exemplar reserva dois capítulos, essencialmente, para Tópicos de Física Moderna, abrangendo relatividade, mecânica quântica, radioatividade e reações nucleares. Entretanto, o autor insere, em alguns capítulos, trechos de Física Moderna. Um exemplo está contido no capítulo “Ótica Ondulatória”, onde se discute a natureza da luz, comparando como as duas teorias, corpuscular e ondulatória, explicam determinados fenômenos. Também no capítulo sobre a Lei de Coulomb, há um tópico que aborda a experiência de Rutherford.

Nos capítulos referentes ao estudo da Física Moderna, encontramos um texto acessível e simples, não carregado de matemática, bem ilustrado e com quadros resumo e palavras-chave. Alguns tópicos mostram a aplicação do conteúdo apresentado. No entanto, o ponto alto do livro é um capítulo, o quarto, sobre eletromagnetismo, que trata de eletrônica e os computadores, algo não comum nos livros didáticos de Física. Ali, mencionam-se os semicondutores, o transistor, os circuitos integrados, o hardware e o software, o fluxo de informações no interior do computador e as devidas aplicações.

Neste livro, apresentam-se os seguintes conteúdos de Física Moderna:

- Teoria da Relatividade Especial
- Mecânica Quântica
- Radiação do Corpo Negro
- Efeito Fotoelétrico
- O Modelo Atômico de Bohr
- Radioatividade
- Fissão e Fusão Nuclear
- Noções Básicas sobre Partículas Elementares

II.3.9 - *Física Moderna – Tópicos para o Ensino Médio* – Dulcídio Braz Jr. 1.ed. Volume Único. Companhia da Escola, 2002, 127p.

Este livro foi produzido apenas para o trabalho com Física Moderna no Ensino Médio, enquadrando-se com a nova proposta, discutida nos PCNEM's, sobre uma Física viva e atuante, promovendo um conhecimento contextualizado e integrado ao cotidiano dos estudantes. É um livro moderno, rico em gravuras e ilustrações dando um enfoque histórico e científico ao conteúdo, utilizando a matemática, mas priorizando os conceitos trabalhados. Há, nele, algumas notas com diversos assuntos e enfoques e, no final do livro, há uma série de testes e exercícios para que os estudantes possam testar se assimilaram os conteúdos.

Nesta obra, apresentam-se os seguintes Tópicos de Física Moderna para nossos estudantes:

- Teoria da Relatividade Especial
- Noções sobre Teoria da Relatividade Geral (quadro)
- Mecânica Quântica
- Radiação do Corpo Negro
- Efeito Fotoelétrico
- Modelos Atômicos
- Espectros de Emissão e Absorção
- Estudo do Laser
- A Dualidade Onda-Partícula
- Comportamento Dual da Matéria
- Princípio da Incerteza
- Física Nuclear
- As Quatro Interações Fundamentais
- Matéria e Antimatéria
- Partículas Fundamentais
- Estudo da Cosmologia

II.3.10 - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, Ed. da USP, 3v, 1993.

É uma obra que contempla a física de maneira em que os estudantes podem compreender como ela está inserida na tecnologia que os cerca, contextualizando os conteúdos e fazendo aplicações práticas dos mesmos. Nesta obra não se faz uso de equações matemáticas e as figuras não chamam muito à atenção. Porém, seu conteúdo é pertinente com uma física voltada ao entendimento do todo, trazendo contribuições importantes e interligando a ciência com a tecnologia e a sociedade. Não há um capítulo específico sobre Física Moderna, mas no volume 2, na parte de Óptica, discute-se a natureza da luz e o modelo de matéria baseado na Física Quântica (Moreira e Ostermann, 2000). Há um apêndice no volume 2 que trata da Fonte Laser e também sobre o Modelo Atômico de Bohr.

O volume 3 apresenta um tópico sobre a interação elétrica no átomo e na matéria e, na parte 5, tem uma abordagem em que utiliza noções básicas sobre mecânica quântica na explicação de determinados equipamentos. Há tópicos sobre semicondutores e utiliza modelos atômicos para caracterizar determinados fenômenos.

Então, os livros do GREF, apresentam os seguintes tópicos sobre Física Moderna:

- Discussão sobre a Natureza da Luz
- Modelo da Matéria baseada na Mecânica Quântica
- Fontes de Laser
- Modelo Atômico de Bohr
- A Interação Elétrica no Átomo e na Matéria
- Semicondutores
- Noções Básicas de Mecânica Quântica

II.3.11 - *Curso de Física* – Alvarenga e Máximo. 5.ed. 3v. Scipione. 2000.

Um dos livros mais utilizados e conceituados para o ensino médio apresenta, ao final de alguns capítulos, uma seção intitulada “um tópico especial”, onde se abordam aspectos históricos, aplicações curiosas da Física ou aspectos mais modernos relacionados com assunto abordado (Moreira e Ostermann, 2000). Ademais, na sua última edição, apresenta, no volume 3, um capítulo intitulado “A Nova Física” fornecendo uma visão panorâmica sobre a Física a partir do século XX. Além disto, aborda desde o mundo microscópico, com suas partículas elementares e interações fundamentais, até as novas concepções sobre o universo, sua origem e constituição. Ainda neste capítulo, apresenta um tópico sobre o comportamento caótico da natureza (teoria do caos), algo raro nos livros didáticos adotados no ensino médio.

O livro é bem ilustrado, com linguagem simples e um tratamento qualitativo dos conteúdos, sem apelo à Matemática mais rigorosa. Apresenta seções de “revisão” e “algumas experiências simples”, bem como, muitos exercícios de vestibular.

Sobre Tópicos de Física Moderna, na seção “um tópico especial”, é abordado os seguintes assuntos:

- Teoria da Relatividade
- Os limites da Mecânica Newtoniana
- A Relação massa-energia (massa relativística)
- Fissão Nuclear
- Aniquilação de Pares
- A Descoberta do Nêutron
- A Experiência de Chadwick
- A Evolução do Modelo Molecular da Matéria
- Movimento Browniano
- A Medição da Velocidade da Luz

- As Dimensões do Universo
- A Natureza da Luz: Modelo Ondulatório e Corpuscular
- Efeito Doppler com a Luz e a Expansão do Universo
- Altas Voltagens na Física Moderna
- Quantização da Carga Elétrica
- A Experiência de Millikan
- Semicondutores e Supercondutividade
- Válvulas, Semicondutores e Transistor
- O Cíclotron e Aceleradores de Partículas
- Descoberta de Algumas Partículas Elementares
- A Descoberta do Elétron
- Propriedades dos Raios Catódicos
- Razão Carga/Massa do Elétron
- O Campo Magnético Terrestre: Aurora Boreal e Austral
- O Espectro Eletromagnético e a Teoria de Maxwell
- Partículas Elementares
- O Desenvolvimento da Cosmologia (Big-Bang)
- Comportamento Caótico da Natureza

II.3.12 - Física Conceitual – Hewitt. 9. ed. Volume Único. Bookman, 2002, 676p.

É um livro atual, contextualizado, enfatizando o caráter conceitual da física em detrimento a uma física matemática, rigorosa, e cheia de regras. Apresenta inúmeras figuras e ilustrações e utiliza-se de linguagem acessível aos leitores. Os conteúdos de Física Moderna encontram-se diluídos por toda a obra, não estando concentrados no final do livro, como é comum na maioria dos compêndios didáticos. Apresenta um sumário de termos e um box intitulado “Praticando Física”, cuja finalidade é incentivar a observação de alguns fenômenos físicos. Há, também, “Leituras Sugeridas”, incentivando a pesquisa do assunto.

Sobre Física Moderna, podemos citar alguns dos conteúdos abordados nos 40 capítulos deste livro. São estes:

- Cosmologia (Buracos Negros)
- Teoria da Relatividade Especial
- Propriedades da Matéria

- Mecânica Quântica
- A Quantização e a Constante de Planck
- Efeito Fotoelétrico
- Dualidade Onda-Partícula
- Difração de Elétrons
- O Princípio da Incerteza
- Complementaridade
- Previsibilidade e Caos
- O Modelo Atômico de Borh
- Radioatividade
- Fissão e Fusão Nuclear

III. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Vários professores e pesquisadores na área de ensino de Física apontam para a necessidade premente da inserção de Física Moderna no Ensino Médio (Valadares, 1998; Terrazzan, 1992; Pinto e Zanetic, 1999; Cavalcante et al, 2001; Ostermann e Cavalcanti, 1999), enumerando prováveis motivos para a não inserção destes tópicos:

- Inadequação curricular;
- Formalismo matemático demasiado;
- Assuntos que fogem ao senso comum;
- Falta de material e ou equipamentos para experimentação;
- Na maioria das vezes, não há vínculo com o vestibular (não é cobrado, não vamos estudar);
- Falta de preparo do professor;
- Não há investimento em qualidade de ensino (cursos de aperfeiçoamento, valorização profissional, aquisição de material didático);
- Elevada carga horária dos professores e falta de condições financeiras.

Devemos ressaltar que, de alguns anos para cá, há um maior investimento ou valorização do ensino de Física. Podemos destacar, os Mestrados Profissionais em Ensino de Física como também, cursos de aperfeiçoamento na área de ensino, que possibilitam o conhecimento e trabalho com recursos novos e, didaticamente, acessíveis em nível de Ensino Médio.

Portanto, para atingir o objetivo de ensinar Física Moderna no ensino médio é preciso, além de disposição e conhecimento teórico, seguir uma teoria de aprendizagem factível com a realidade do sistema de ensino, para que os educandos realmente aprendam e intervenham, dando um significado naquilo que estão aprendendo.

Assim sendo, vamos agora apresentar, de maneira sucinta, duas teorias de aprendizagem que norteiam este trabalho e servem de referencial teórico para este projeto.

III. 1. Aprendizagem Significante de Rogers

Um dos enfoques teóricos deste trabalho baseia-se na idéia de Carl Rogers¹ de aprendizagem significativa como aquela que provoca uma modificação no “organismo²”, ou seja, uma aprendizagem que transcende e engloba o indivíduo como um todo: cognitivo, afetivo e psicomotor, o que constitui um enfoque, basicamente, humanístico da aprendizagem (Moreira, 1999).

¹ Carl Rogers graduou-se em História pela Universidade de Chicago e doutorou-se em Psicologia Educacional no “Teachers's College” da Universidade de Columbia, em Nova Iorque. Dedicou-se, profissionalmente, à psicologia clínica, onde aconselhava e estudava as pessoas. (Moreira, 1999)

² Rogers vê o indivíduo como um todo, não só o intelecto; daí usa, freqüentemente, o termo “organismo”(Moreira,1999).

“A aprendizagem significativa é, para Rogers, mais do que uma acumulação de fatos. É uma aprendizagem que provoca uma modificação, quer seja no comportamento do indivíduo, na orientação da ação futura que escolhe, ou nas suas atitudes e na sua personalidade. É uma aprendizagem penetrante que não se limita a um aumento de conhecimentos”.

(Moreira,1999)

Outro ponto focal na teoria de aprendizagem³ de Rogers é o que chama de auto-realização, ou seja, quando o estudante percebe que aquilo que está aprendendo é relevante para seus próprios objetivos (Moreira, 1999). Neste sentido, os alunos valorizam mais aquilo que, potencialmente, consideram importante para seu crescimento pessoal, visto que são, por natureza, curiosos e necessitam saber mais sobre como as coisas realmente funcionam. A auto-realização provém do engrandecimento do seu próprio eu (Moreira, 1999), isto é, os estudantes buscam a percepção da relevância do conhecimento, produzindo uma aprendizagem satisfatória e muito mais rápida (Moreira, 1999).

Outro ponto relevante é que grande parte da aprendizagem significativa é adquirida através de atos, ou seja, deve-se colocar o aluno em confronto direto com problemas práticos e com problemas de pesquisa (Moreira, 1999). Neste sentido, o estudante deve ser estimulado a pesquisar, bem como interagir com experimentos práticos que desafiem seu intelecto e mostrem que aquilo que estão aprendendo realmente é relevante para sua aprendizagem. O aluno sente-se desafiado e, ao mesmo tempo, interage concretamente com aquilo que se dispõe a resolver (seu objeto de estudo).

Outro aspecto, segundo a teoria de aprendizagem significativa de Rogers é que este processo torna-se mais eficaz quando o estudante se deixa envolver, tornando a aprendizagem não apenas no campo cognitivo, mas também afetivo, como um todo (Moreira, 1999).

A teoria de aprendizagem significativa de Rogers enquadra-se, neste trabalho, no sentido de provocar mudança. Essa mudança significa:

- Mostrar que o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea é relevante, levando o estudante à auto-realização;
- Incentivar os estudantes ao estudo de Física para que, através da pesquisa, venham a intervir no conhecimento adquirido;
- Proporcionar prazer no aprender;
- Usar de “atos” de aprendizagem, ou seja, através da prática ou de experimentos, tornar a aprendizagem significativa para os estudantes;
- Desafiar o estudante para que resolvam problemas de ordem significativa ao seu aprendizado, ou seja, desafiá-lo a procura de soluções. O estudante envolve-se no processo,

³ Rogers refere-se à “Princípios de Aprendizagem” e não a “Teoria de Aprendizagem”(Moreira,1999).

tornando a aprendizagem não apenas no campo cognitivo, mas também, no campo afetivo, considerando-o como um todo.

Durante o curso ministrado aos estudantes, foi-lhes proporcionado interagir amplamente com os conhecimentos adquiridos através de exposições visuais, simulações, debates e experimentos orientados. Esses “atos”, que preferimos chamar de ações, possibilitaram um contato visual com o conhecimento ministrado. A interatividade foi o foco da atividade, neste curso, com o fim de atingirmos uma aprendizagem significativa, neste processo de ensino.

III. 2. Aprendizagem Significativa de Ausubel

Um ponto importante, nos curso que ministramos, foi fazer a associação da teoria clássica com a teoria moderna. Essa comparação entre física clássica e física moderna compreende o ponto focal da teoria de aprendizagem de David Ausubel⁴, que consiste na interação entre o conhecimento novo (Física Moderna) e o conhecimento prévio (Física Clássica).

“Para Ausubel, a aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo, ou seja, este processo envolve a interação da nova informação com a estrutura de conhecimento específica, a qual Ausubel define como conceito subsunçor , ou simplesmente subsunçor, existente na estrutura cognitiva do indivíduo”

(Moreira, 1999)

Ausubel usa um termo, não existente na língua portuguesa: a palavra *subsunçor*. Trata-se de uma tentativa de aporuguesar a palavra inglesa “subsumer”, o que seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador (Moreira, 1999).

A teoria da aprendizagem significativa de Ausubel revela uma estrutura cognitiva hierárquica, onde conhecimentos específicos são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos (Moreira, 1999).

Aplicando a teoria de Ausubel ao projeto, foi preparado e ministrado o curso: “*Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula*”, que tinha como ponto de partida a discussão sobre a natureza da luz e os fenômenos que ocorrem com ela. Nesse respeito, a teoria clássica da luz (conceitos, fenômenos e experimentos) serve de âncora, isto é, são conceitos relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz permitindo uma aprendizagem significativa de conceitos específicos como a teoria corpuscular da luz e a mecânica quântica. Portanto, hierarquicamente, conhecimentos mais específicos como os fenômenos de difração, interferência, polarização e a teoria ondulatória da luz ancoram conhecimentos mais gerais como a dualidade onda-

⁴ Professor emérito da Universidade de Columbia, em Nova Iorque. É médico-psiquiatra de formação, mas dedicou sua carreira acadêmica à psicologia educacional. Ao aposentar-se, há vários anos, voltou a psiquiatria (Moreira, 1999).

partícula, experimento da fenda dupla com fótons e elétrons e princípios básicos da mecânica quântica.

Ausubel recomenda o uso de *organizadores prévios* que sirvam de âncora para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitem a aprendizagem subsequente (Moreira, 1999). Isto, na realidade, é uma estratégia para manipular a estrutura cognitiva do estudante, para facilitar a aprendizagem significativa. Esses organizadores prévios são materiais introdutórios que servem de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber (Moreira, 1999). Neste sentido, no curso desenvolvido, em várias oportunidades foram utilizados materiais com informações já assimiladas pelos estudantes e informações que, posteriormente, iriam estudar. Isso é o que Ausubel chama de “pontes cognitivas”.

Por fim, Ausubel destaca, em sua teoria, dois aspectos relevantes para a ocorrência da aprendizagem significativa:

- O material deve ser potencialmente significativo, isto é, que o estudante tenha disponível em sua estrutura cognitiva os subsunçores adequados para aprendizagem satisfatória;
- Deve haver pré-disposição a aprender e relacionar a nova informação à sua estrutura cognitiva.

No curso oferecido, o material contemplou os conhecimentos prévios adquiridos pelos estudantes bem como, a nova informação para que o estudante pudesse associar, cognitivamente, a informação prévia com a informação mais geral. Além disso, todos os estudantes que participaram do curso inscreveram-se, voluntariamente, o que mostra disposição em aprender, ou seja, relacionar de maneira substantiva e não-arbitrária o novo material, potencialmente, significativo, à sua estrutura cognitiva (Moreira, 1999).

IV. A PROPOSTA

IV.1. O Caráter Social da Física Moderna no Ensino Médio

A Física tem sido encarada como uma ciência formal, rigorosamente matemática e difícil de ser compreendida. Tal impressão, na maioria das vezes, é transmitida aos estudantes pela própria postura do professor e de como ele conduz sua atividade pedagógica. É raro mostrar a importância da física na vida das pessoas e como, de alguma forma, isto afeta suas vidas. Em outras palavras, o processo educacional no ensino de Física é dogmático e estanque, raramente contextualizado, sem preocupar-se com as possíveis consequências que a demanda de informações pode provocar na vida de um indivíduo, no sentido de que quão relevante é tal conhecimento para a vida do estudante.

Contemplando uma melhoria no ensino de Física, a LDB (Leis de Diretrizes e Bases para a Educação Nacional) enfatiza que o ensino médio deve deixar de ser apenas preparatório para o vestibular, mas *“deve preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho”*.

Portanto, a educação não deve ser meramente informativa, mas formativa, contemplando habilidades e competências dos indivíduos, introduzindo-os socialmente. Tal processo, conforme a LDB, exige:

“Métodos compatíveis de aprendizagem, ou seja, condições efetivas para que os alunos possam comunicar-se e argumentar, deparar-se com problemas, compreendê-los e enfrentá-los, participar de um convívio social que lhes dêem oportunidade de se realizar como cidadãos, fazer escolhas e proposições, tomar gosto pelo conhecimento, aprender a aprender”.

O ensino de ciências, baseado nesta proposta, deve contemplar três competências gerais para seus fins: Representação e Comunicação, Investigação e Compreensão e Contextualização Sócio-Cultural.

A primeira enfatiza a necessidade do entendimento da linguagem utilizada na ciência, através de seus símbolos e códigos, sua representação particular do mundo que nos cerca. A ciência tem uma forma de comunicação própria e, para entendê-la, faz-se necessário à compreensão e interpretação de seus simbolismos, o que se mostra relevante para atividades econômicas e para o pensamento social (LDB).

A segunda competência geral mostra a importância da investigação no processo educativo. É importante mostrar a ligação entre o conhecimento científico e a produção de novas tecnologias e os métodos utilizados para a produção dos mesmos. Isso servirá para que se *possam criar modelos representativos e explicativos, essenciais para a compreensão das leis naturais* (LDB).

Por fim, a Contextualização Sócio-Cultural, como competência geral, promove um ensino mais amplo abrangendo aspectos éticos e uma compreensão mais abrangente da cultura, da política,

e da economia na vida humana (LDB). A Física, como as outras disciplinas científicas, não está apartada do caráter social, mas é agente integrado para a formação integral dos indivíduos.

No entanto, qual o papel da Física Moderna no contexto social? Para Cavalcante (1999) o papel da nova física é desenvolver um exercício mais pleno da cidadania. Neste sentido, a introdução de Tópicos de Física Moderna no ensino médio tem relevância devido ao seguinte argumento:

“Há muito tempo que discussões sobre a inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, vêm sendo realizadas em todo o mundo por especialistas em ensino, visto ser o seu entendimento, fator primordial para a formação de indivíduos que devem atuar em uma sociedade que convive em um meio repleto de ambigüidades (benefícios x prejuízos), decorrentes dos avanços tecnológicos, provenientes das grandes descobertas científicas deste século”.

(Cavalcante, 1999)

Portanto, é inconcebível, do ponto de vista legal e formativo, ignorar toda a construção científica da física, principalmente do início do século XX, na abordagem seqüencial ou compartimentada desses conteúdos em sala de aula. No mesmo artigo, Cavalcante (1999) cita Piaget:

“Pensar não se reduz em falar, classificar em categorias nem abstrair: Pensar é agir sobre o objeto e transformá-lo”.

Como alguém pode agir (modificar / inovar) algo que não conhece? Neste caso, a Física está cumprindo seu papel formativo?

Portanto, enquadrando-se socialmente, a Física deve ser atraente aos estudantes, eles devem ser “seduzidos” pela tecnologia (Cavalcante, 1999). O exercício da cidadania passa por uma aprendizagem significativa dos conteúdos de Física, o que inclui Tópicos de Física Moderna. É preciso encarar o processo ensino-aprendizagem no âmbito formativo, *baseado no conhecimento das formas contemporâneas de linguagem e no domínio dos princípios científicos e tecnológicos que atuam na produção moderna* (Cavalcante, 1999). Não se pode renegar o conhecimento, tão vital e impregnado na atual produção tecnológica, sobre a Física desenvolvida no início do século XX. Não se deve conceber um ensino atemporal e estático da Física, cheio de regras e noções matemáticas, desvinculadas da realidade social dos educandos. Antes, devem-se tratar, de maneira contextual, assuntos relevantes, significativos, com vínculos reais para a formação de indivíduos capazes de interagir com a realidade que os cerca.

IV.2. A Proposta: Instrumentalizar o Ensino de Física Moderna

A proposta deste trabalho é, a partir de um curso de caráter extracurricular, produzir um material, em forma de hipertexto, para que professores e alunos possam trabalhar Tópicos de Física Moderna como, por exemplo, a Mecânica Quântica nas salas de aula do ensino médio. Este será gravado e disponibilizado em CD-ROM e estará a disposição na Internet podendo servir de fonte de pesquisa para aqueles que desejam aprender, qualitativamente, sobre os tópicos abordados de

Física Moderna. Não se trata de um material definitivo, abrangendo a totalidade dos conteúdos ou a solução “mágica” para que o ensino de Física contemple este ramo tão ausente nas escolas, porém, trata-se de instrumento que estará à disposição de alunos do ensino médio, através da Internet, ou seja, é uma proposta alternativa e concreta de trabalho, utilizando o computador como meio de inserir o assunto. Acreditamos que o material será de auxílio nas aulas ministradas no ensino médio, sendo um produto de qualidade e uma alternativa específica para a inserção de Tópicos de Física Moderna.

Um aspecto a ser salientado é que o curso ministrado serviu de embasamento teórico (laboratório) para a produção do material, contrário ao que julgaríamos o comum, isto é, elaborarmos o material e, posteriormente, aplicá-lo para testar sua viabilidade no ensino médio. Tal posição foi proposital, pois possibilitou uma visão das necessidades e dificuldades encontradas na abordagem e na assimilação de temas tão específicos como efeito fotoelétrico, radiação do corpo negro, tópicos básicos de mecânica quântica e etc.

IV.3. A Justificativa da Proposta

A escolha da proposta de trabalho, inserir Física Moderna no Ensino Médio e produzir material instrucional, justifica-se, em parte, pelo que é levantado por Ostermann e Cavalcanti (1999), conforme transcrito abaixo:

“Apesar de ser ampla a bibliografia e de haver alguns recursos didáticos em inglês sobre o tema (partículas elementares), são extremamente escassos os materiais escritos em língua portuguesa, o que, do ponto de vista do ensino médio brasileiro, é um forte obstáculo para a atualização curricular”.

(Ostermann e Cavalcanti, 1999)

De acordo com as idéias dos autores citados acima se verifica a escassez de materiais de consulta, principalmente, na língua portuguesa, sobre os vários Tópicos de Física Moderna. Apesar de haverem iniciativas bem mais discretas em nosso país, observa-se certa tendência em se pensar a atualização dos programas de física no ensino médio (Ostermann e Cavalcanti, 1999). No entanto, pouco material tem-se produzido e, na maior parte, destinam-se a apontar as possíveis causas da não inserção da Física Moderna no ensino médio, conforme é relatado abaixo:

“A literatura existente sobre o tema é, em geral, dirigida à simples apresentação (supostamente acessível ao professor) de tópicos modernos ou ao levantamento de justificativas que apoiem a asserção de que é preciso renovar os conteúdos escolares de Física”.

(Ostermann e Cavalcanti, 1999)

Portanto, a literatura aponta a necessidade de uma reforma curricular da disciplina de Física no ensino médio, porém, são reduzidas as contribuições práticas, propostas concretas de trabalho que possam auxiliar no processo ensino-aprendizagem dentro da sala de aula. Por conseguinte, a instrumentação do ensino de Física torna-se necessária. É preciso não apenas apontar as falhas ou dizer o que deve mudar, mas também é preciso contribuir com materiais, acessíveis não só aos

professores, mas aos estudantes, para que se possa, de maneira gradual e não ocasional, inserir Tópicos de Física Moderna nas escolas secundárias brasileiras.

IV.4. Objetivos da Proposta

A proposta, como já mencionamos, tem como principal objetivo gerar material didático com a finalidade de servir como fonte de consulta para estudantes e professores do ensino médio, devido aos poucos recursos disponibilizados na língua portuguesa.

Entretanto, vários outros objetivos devem ser mencionados, pois são relevantes na concepção deste projeto. Tais objetivos são:

- Proporcionar aos alunos do ensino médio contato com a Física Moderna produzida no início do século XX;
- Contextualizar os conteúdos de Física Moderna com a tecnologia empregada e difundida na sociedade humana;
- Utilizar o computador, em especial a Internet, como fonte de pesquisa de tópicos de Física Moderna, principalmente, java-applets que simulam muitos fenômenos físicos inacessíveis, na prática, para alunos do ensino médio;
- Trabalhar os fenômenos, visual e qualitativamente, procurando o significado físico dos mesmos;
- Programar e realizar um conjunto de atividades didáticas com alunos em sala de aula, preparadas a partir de textos e hipertextos selecionados na Internet. Estas atividades servirão de laboratório para testar algumas hipóteses e conceitos que basearão a preparação do material didático que será elaborado neste projeto;
- Estimular os estudantes para que possam interessar-se pela Física como atividade de construção humana, mostrando sua relevância social;
- Mostrar que é possível levar a mecânica quântica para o ensino médio, bem como, satisfazer uma necessidade do autor (desafio) para o trabalho com tais temas;
- Gerar a partir das pesquisas e atividades realizadas durante o curso, um hipertexto sobre o tema escolhido para ser reproduzido em CD-ROM e, mais tarde, disponibilizado na Internet. Este material didático deverá explorar, da forma mais abrangente possível, todos os recursos disponíveis a partir das tecnologias de informática e de comunicação, bem como procedimentos pedagógicos adequados ao uso destas tecnologias.

V. ESTRUTURAÇÃO DO CURSO

V.1. Organização do Curso

Para gerar o hipertexto, como produto final deste trabalho, foi programado um curso de caráter extracurricular que serviu de embasamento teórico e proporcionou uma visão mais abrangente sobre o tipo de conteúdo a ser desenvolvido, a quantidade e a qualidade do mesmo, bem como a elaboração de um produto acessível, de linguagem atraente e objetiva, ilustrado e de fácil compreensão.

O curso foi realizado nas dependências da Escola Técnica Santo Inácio, localizada na periferia da cidade de Porto Alegre, mais precisamente, no bairro Humaitá, desta cidade, e foi ministrado para as turmas 221, 222 e 121, ambas do 2^o ano do ensino médio. As turmas 221 e 222 são do curso de *técnico de informática* da escola, já a turma 121 é referente ao curso *técnico de eletrônica*.

O curso foi ministrado no horário das 18h às 19h20min, quintas-feiras, depois do período regular das aulas dos estudantes (13h30min às 17h55min), tendo início no dia 24 de junho de 2004 e com previsão de término no dia 16 de setembro de 2004.

Cabe ressaltar que os estudantes freqüentavam o curso regular de Física, conforme especifico pelo MEC, à tarde das 13h30min às 17h55min. No horário normal das aulas eles já haviam estudado os fenômenos ondulatórios como: a reflexão, a refração, a difração, a polarização e a interferência de ondas sonoras e eletromagnéticas. Também, no curso regular, já haviam sido introduzidos conceitos básicos de óptica geométrica sendo que, no curso extracurricular, foi ministrado à parte de óptica ondulatória dando ênfase ao Experimento da Fenda Dupla.

A carga horária total do curso foi de, aproximadamente, 15 horas-aula, sendo onze (11) encontros de 80 minutos cada, contemplando um período de recesso de duas semanas (15 de julho a 5 de agosto de 2004).

V.2. Cronograma

O curso, como já mencionado, ocorreu em onze (11) encontros que foram divididos da seguinte forma:

1. Pré-Teste e Apresentação do Curso (1 encontro);
2. Abordagem Histórica – Discussão sobre a Verdadeira Identidade da Luz (1 encontro);
3. Ótica Ondulatória – Difração, Interferência e Polarização. Fenômenos que Levaram a Interpretação Ondulatória da Luz (2 encontros);
4. Renascimento da Teoria Corpuscular – Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Radiação do Corpo Negro (2 encontros);
5. Implicações do Caráter Dual da Luz – Partículas têm Comportamento Ondulatório? (1 encontro);

6. Introdução à Mecânica Quântica – Discussão sobre a Experiência da Fenda Dupla e Polarização da Luz (3 encontros);
7. Avaliação do Processo (1 encontro).

Portanto, conforme a divisão estabelecida para a realização do curso pode-se destacar a seguinte linha de ação tomada durante a aplicação do mesmo:

- Avaliação do processo através de um pré-teste e um pós-teste para a análise da validade do curso;
- Introdução dos assuntos através da discussão histórico-científica sobre a natureza da luz e os fenômenos envolvidos;
- Ótica ondulatória introduzindo a difração, interferência e polarização da luz. A teoria eletromagnética de Maxwell para a comprovação da teoria ondulatória da luz;
- Os fenômenos do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton para reascender a discussão sobre a natureza da luz (teoria corpuscular);
- A dualidade abrangendo toda a matéria sendo um dos pilares da mecânica quântica (dualidade onda-partícula);
- Introdução de alguns princípios básicos da Mecânica Quântica.

V.3. Objetivos do Curso

O principal objetivo do curso foi colocar os alunos do ensino médio em contato com temas de Física Moderna num contexto sócio-cultural para a produção de uma aprendizagem realmente significativa, mostrando o valor prático da Física e sua relevância na produção tecnológica atual. No entanto, podemos destacar outros objetivos que nortearam o trabalho desenvolvido:

- Atrair os estudantes para a carreira científica, mostrando o papel da Física em suas vidas, estimulando-os para serem futuros pesquisadores em Física;
- Contextualizar os conteúdos abrangidos no curso extracurricular, mostrando seu valor prático e aplicações;
- Introduzir Mecânica Quântica através da discussão sobre a natureza da luz, enfocando, teoricamente, pontos favoráveis e discordantes das teorias ondulatória e corpuscular acerca da identidade da luz;
- Trabalhar os tópicos numa linguagem acessível, não enfatizando matematicamente os mesmos⁵;

⁵ Não se trata de desprezar a matemática, mas priorizar conceitualmente os conteúdos.

- Trabalhar com recursos modernos, como a Internet, na introdução de Tópicos de Física Moderna;
- Despertar o interesse de alunos do ensino médio sobre Tópicos Avançados de Física, bem como, mostrar que é possível levar a mecânica quântica para o ensino médio (Pinto e Zanetic, 1999);
- Despertar o interesse dos alunos para o contexto histórico-científico, enfocando como nasceu e foram defendidas as teorias sobre a natureza da luz;
- Realizar um trabalho sério e dedicado com o ensino médio, estimulando o interesse no saber.

V.4. As inscrições

Estipulado o horário e a duração do curso foi iniciado a fase de inscrições para alunos do 2^o ano do ensino médio da escola. Foram disponibilizadas 20 vagas que deveriam ser preenchidas de acordo com o interesse dos educandos, bem como com a disponibilidade para a frequência no mesmo.

Antes do início do curso, formalizamos, através de uma carta direcionada à direção da Escola, o pedido para a realização do mesmo, como também a utilização dos espaços físicos e materiais de apoio (ver Apêndice B).

Depois de concedida a permissão para a realização do curso na Escola, iniciou-se o processo de inscrição de maneira informal, ou seja, o professor, no horário regular das aulas, entrava nas turmas explicando a metodologia do curso, os objetivos e os conteúdos a serem tratados, convidando os interessados a participar com o compromisso único de serem assíduos durante todo o processo. Divulgou-se o curso com o título: “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”.

Inscreveram-se 23 alunos no curso viabilizando a aplicação e o investimento de tempo e material. O número de inscritos surpreendeu devido ao horário e as atividades paralelas como aulas de reforço, laboratórios e atividades extracurriculares comuns hoje em dia.

V.5. Conteúdos Trabalhados

Os conteúdos trabalhados no curso tiveram ênfase conceitual contextualizando-os de acordo com a realidade vigente e as aplicações tecnológicas utilizadas. O conteúdo programático foi:

1. Visão Histórica: Primeiras Teorias sobre a Natureza da Luz.
2. Teoria Ondulatória: Difração, Interferência e Polarização da Luz.
3. Teoria Corpuscular: Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton.
4. Radiação do Corpo Negro.
5. Teoria Ondulatória da Matéria: Difração de Elétrons.
6. Alguns Princípios da Mecânica Quântica:
 - Dualidade Onda-Partícula

- Princípio da Incerteza
 - Problema da Medição
 - Colapso da Função de Onda
7. Experiência da Fenda Dupla: Objetos Clássicos, Ondas e Objetos Quânticos (Fótons e Elétrons).
 8. Interferômetro de Mach-Zehnder e Experiência da Fenda Dupla.

V.6. Metodologia

A metodologia utilizada foi dividida da seguinte seqüência: parte teórica, parte prática e leitura de textos.

1) Parte Teórica

- Aula expositivo-dialogada com apresentação de um resumo em power-point;
- Apresentação de simulações via Internet;
- Discussão e análise de fenômenos visualizados em programas de computador;
- Leitura em sala de aula de textos sobre o assunto;

2) Parte Prática

- Utilização do laboratório de informática para o trabalho com simuladores dos conteúdos vistos em sala de aula;
- Experimentos realizados em sala de aula.

3) Leitura de Textos

- Texto elaborado pelo professor-autor sobre a natureza da luz;
- Textos retirados em livros didáticos comercializados para o ensino médio. Basicamente, estes textos foram retirados de quatro livros didáticos: **Física**, Alberto Gaspar, volumes 2 e 3; **Física Moderna – Tópicos para o Ensino Médio** de Dulcideo Braz Jr. ; **O Universo dos Quanta – Uma Breve História da Física Moderna** dos autores Olival Freire Junior e Rodolfo Alves de Carvalho Neto e **Curso de Física** da autora Beatriz Alvarenga, volumes 2 e 3;
- Leitura do Livro “Alice no País do Quantum” de Robert Gilmore;
- Sites indicados para leitura e pesquisa.

V.7. Ambiente de Trabalho

Para a realização do curso foram disponibilizados, no horário programado, dois ambientes de trabalho: a sala de projeção e o laboratório de informática. A primeira classificamos como uma grande sala que continha carteiras confortáveis para a comodidade dos alunos. Ademais, havia disponível, nesta sala, um computador acoplado a um Data-Show, onde aulas elaboradas no Power Point eram

projetadas numa tela. Havia também, um quadro branco utilizado apenas para pequenas explicações durante as aulas teóricas. A maior parte do curso foi neste ambiente, inclusive às demonstrações práticas realizadas durante o desenvolvimento do projeto. A figura 01 mostra este ambiente.



Figura 01: Sala de Projeção

O segundo ambiente de trabalho é mostrado na figura 02. Trata-se do laboratório de informática, com computadores ligados à rede mundial (Internet). Neste ambiente, os alunos puderam entrar em contato com simuladores, trabalhando desde a ótica ondulatória até alguns conceitos básicos de Mecânica Quântica. Devemos destacar que não havia um computador para cada aluno, sendo que dois alunos trabalhavam em cada terminal.



Figura 02: Laboratório de Informática

V.8. Materiais Utilizados

Os materiais utilizados no curso são classificados do seguinte modo: Material de Apoio e Material Didático.

1) Material de Apoio

- Projetor Data-Show, usado para projetar as aulas;
- Laboratório de Informática;
- Internet, para pesquisa e visualização das simulações dos fenômenos estudados.

2) Material Didático

- Texto produzido pelo professor-autor (Apêndice A) e textos retirados de livros didáticos já citados;
- Softwares que reproduzem experimentos avançados e de difícil acesso para a maioria dos estudantes. Temos como exemplo: Experimento da Fenda Dupla, O Interferômetro de Mach-Zehnder e a de Polarização da Luz;
- Os Java-Applets, recolhidos na Internet, que simulam diversos fenômenos físicos como difração, interferência da luz, propagação de uma onda eletromagnética, Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton e Radiação do Corpo Negro.

3) Material de Controle

- Lista de chamada para o controle da frequência dos estudantes durante o curso (ver modelo no Apêndice C).

VI. APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Este capítulo aborda um resumo do que foi trabalhado durante o curso, acerca dos conteúdos e atividades desenvolvidas, além de focar a metodologia empregada durante sua realização. Cada aula ministrada será descrita, qualitativa e quantitativamente, pormenorizando aspectos relevantes que nós julgamos interessantes para a produção do material didático proposto como produto final deste trabalho. Além disso, vamos analisar os resultados obtidos no pré-teste e no pós-teste, enfocando-os qualitativamente e buscando informações sobre os conhecimentos prévios (pré-teste) e sobre os conhecimentos adquiridos durante o curso (pós-teste). Incluímos, também, relatos escritos dos estudantes sobre o curso, sua estruturação e execução, buscando subsídios para adequar o material didático às necessidades dos discentes. Todos estes dados contribuíram para a construção do hipertexto proposto que nortearam a conclusão deste trabalho.

VI.1. Descrição das Aulas Ministradas

Primeiro Encontro (24/6/2004)

O início das atividades foi pautado pelos acordos que se faziam necessários sobre horário, distribuição dos conteúdos, material a ser utilizado e recursos disponíveis. Nesta ocasião, frisamos a importância da assiduidade e pontualidade para o bom andamento do curso, já que o mesmo não implicava numa avaliação quantitativa para o educando (nota, conceito, parecer descritivo, etc). Portanto, neste momento, foi preciso envolvê-los num clima de expectativa para as próximas atividades.

Também, neste encontro, aplicamos um pré-teste para verificar o conhecimento dos estudantes sobre assuntos a serem trabalhados. O pré-teste não continha teor científico ou investigativo, mas destinava-se a constatar os conhecimentos prévios do assunto por parte dos alunos, ou seja, servir como referencial de aprendizagem. Este pré-teste continha questões de múltipla escolha sobre: Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Quantização da Energia, Caráter Ondulatório de Partículas, Interferência de Ondas e Elétrons e alguns Conceitos Básicos de Mecânica Quântica (Ver Apêndice D). Constava também, no pré-teste, um questionário, de ordem pessoal, sobre o interesse de cada estudante em relação ao tema proposto, buscando o motivo pelo qual os estudantes estavam realizando o curso e a sua opinião sobre a importância de se trabalhar Tópicos de Física Moderna no Ensino Médio.

Por fim, o pré-teste apresentava palavras⁶ relacionadas com os temas a serem abordados durante o curso onde os estudantes deveriam escrever, em lacunas laterais, cinco palavras ou conceitos relacionados a cada palavra fornecida. Com este exercício, visamos apenas observar conceitos pré-existentes, não havendo a necessidade de justificá-los (Greca, 2000).

Segundo Encontro (01/7/2004)

⁶ Teste baseado na Tese de Doutorado da professora Ileana Greca.

No segundo encontro do curso extracurricular iniciamos á parte teórica, com uma abordagem histórico-científica sobre a natureza da luz, abrangendo o modelo ondulatório e corpuscular tendo como foco principal responder a pergunta: *Luz é Onda ou Partícula? O que realmente é a luz?*

Além do que foi citado acima, o objetivo deste encontro, antes de contemplar aspectos históricos, era servir de elemento motivador para a continuidade do curso, isto é, envolver os estudantes num clima de expectativa, motivá-los a comparecer aos próximos encontros, sempre procurando enfatizar o ponto questionado sobre a natureza da luz, dando subsídios para que os estudantes levantassem respostas ou opiniões pessoais sobre o assunto. A figura 03 mostra o slide introdutório do segundo encontro.

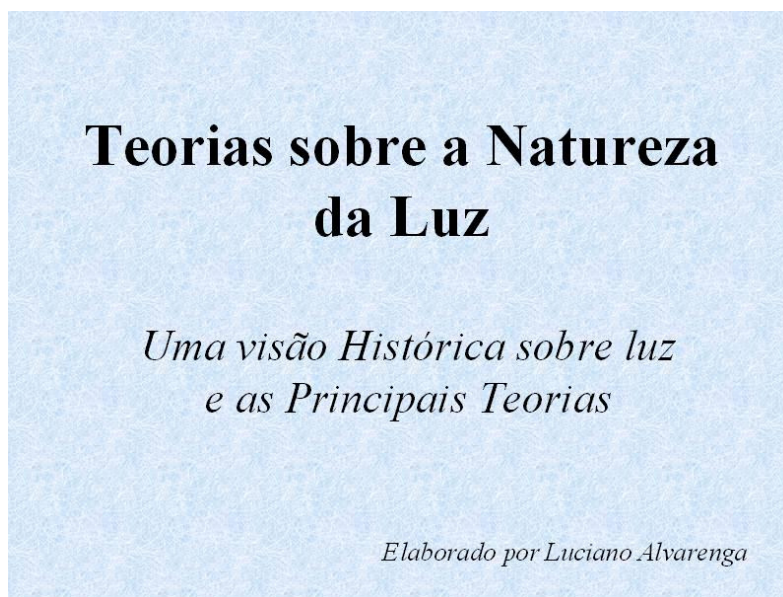


Figura 03: Slide Tema da Primeira Aula Teórica

Concernente, aos aspectos históricos abordamos as antigas concepções dos gregos sobre a natureza da luz, o modelo corpuscular (partícula) da luz de Isaac Newton (1642 – 1727) e o modelo ondulatório que defendia a idéia de que a luz era uma onda, assim como o som era identificado como onda na época (Ronan, 1987). Também foram mostrados experimentos de Efeito Fotoelétrico e de Efeito Compton, que fizeram ressurgir a idéia de corpúsculo para a natureza da luz.

Outros pormenores sobre a teoria eletromagnética desenvolvida para explicar a luz como onda e justificar sua propagação foram explanados durante o curso, lembrando que apenas destacamos aspectos históricos e relevantes sobre o tema sugerido.

Por fim, procuramos enfatizar as ideais de Albert Einstein (1879 – 1955) sobre os quanta de luz e a interpretação dada por ele ao Efeito Fotoelétrico, mostrando a relevância do tema para o desenvolvimento de uma nova física: a Mecânica Quântica.

Então, foram mostrados aos alunos aspectos histórico-científicos sobre a natureza ondulatória da luz, enfatizando o Princípio de Huygens e o experimento da Fenda Dupla de Young,

como também aspectos concernentes à teoria corpuscular da luz envolvendo o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton, reabrindo a discussão sobre a verdadeira identidade da luz. Conforme o último slide da apresentação, a resposta à pergunta inicial ainda necessitava de maiores pormenores para a sua solução.

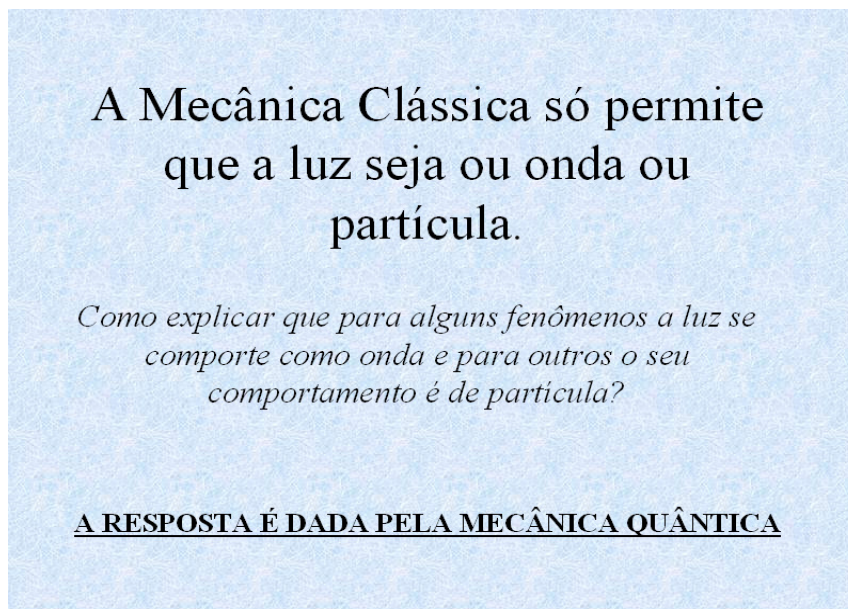


Figura 04: Slide final da primeira aula teórica

Portanto, conforme mostra a figura 04, a resposta à questão sobre a natureza da luz só poderia ser satisfatoriamente respondida pela Mecânica Quântica, que admite o dualismo onda-partícula como um dos alicerces básicos desta nova teoria.

Para ajudar os estudantes a assimilar os pormenores histórico-científicos desta aula foi fornecido a eles um texto, em anexo, com o resumo das idéias trabalhadas durante o primeiro encontro, lembrando que a motivação foi um dos pontos de maior preocupação neste início de atividades.

Terceiro Encontro (08/7/2004)

O terceiro encontro teve como principal objetivo mostrar aos estudantes, os fenômenos que levaram a interpretação ondulatória para a natureza da luz: difração, interferência e polarização. Iniciamos o encontro mostrando a propagação de uma onda eletromagnética, como também definimos este tipo de onda. Retiramos, para colaborar com a aula teórica, textos dos livros: Física, do autor Alberto Gaspar e Curso de Física, da autora Beatriz Alvarenga. A figura 05 introduz o terceiro encontro, lembrando que os estudantes já haviam estudado os fenômenos ondulatórios nas aulas regulares de Física.

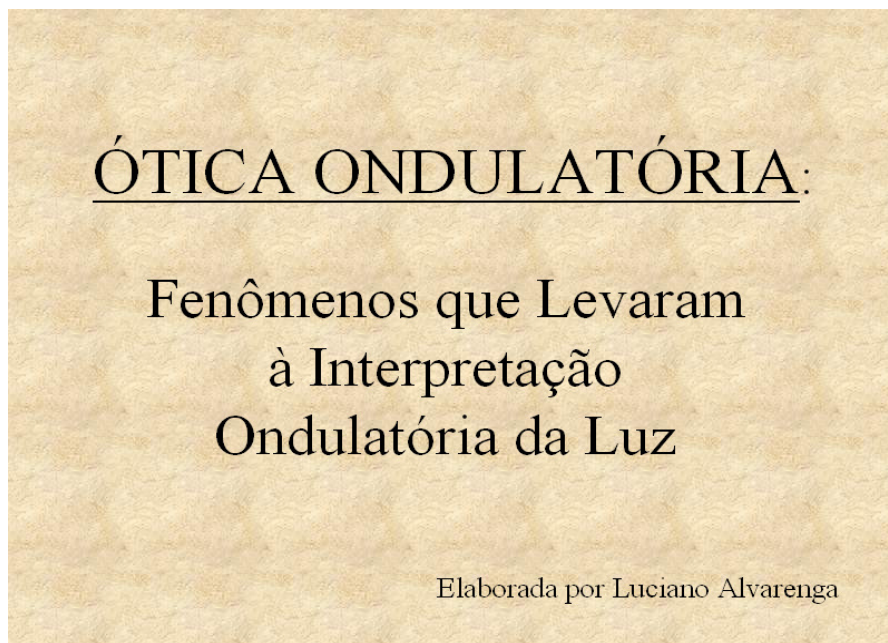


Figura 05: Slide Tema da Segunda aula teórica

Foram trabalhados temas como a geração de ondas eletromagnéticas, o Princípio de Huygens, a reflexão e a refração de ondas, a difração de ondas, o experimento da fenda dupla com ondas eletromagnéticas, a interferência luminosa, a polarização de ondas transversais e a lei de Malus. O enfoque, desta aula, era mostrar que os temas abordados apontavam para um modelo ondulatório para a natureza da luz. Após o encontro alguns estudantes estavam convencidos de que a luz era uma onda eletromagnética.

Quarto Encontro (15/7/2004)

Neste quarto encontro utilizamos, para contribuir com a visualização dos fenômenos físicos apresentados no encontro anterior, simuladores (Applets) recolhidos na Internet que auxiliaram, conceitualmente, na assimilação dos conteúdos trabalhados. Tais simuladores contemplavam os tópicos trabalhados contribuindo para a continuidade do curso e motivaram os alunos à pesquisa e ao levantamento de hipóteses sobre os assuntos explanados durante o curso. As figuras 06 a 11 mostram alguns simuladores utilizados neste encontro e que foram visualizados e analisados pelos estudantes. Cabe ressaltar que o objetivo foi o de identificar os fenômenos, qualitativamente, sem entrar em pormenores matemáticos e abstrair o máximo de informação de tais simulações.

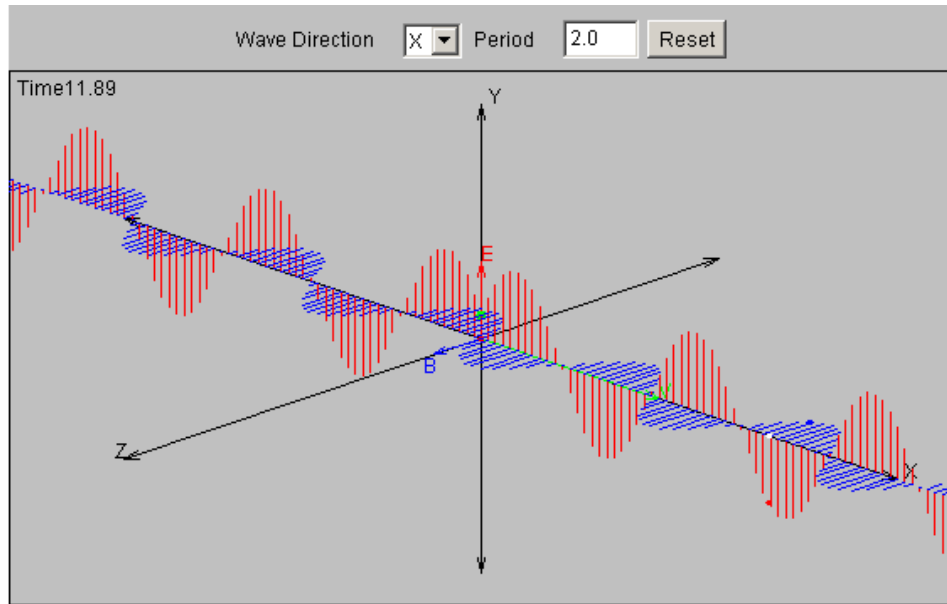


Figura 06: Tela de Simulador (Produção de Ondas)

Fonte: Fu-Kwun Hwang - www.phy.ntnu.edu.tw/java/emWave/emWave-port.html

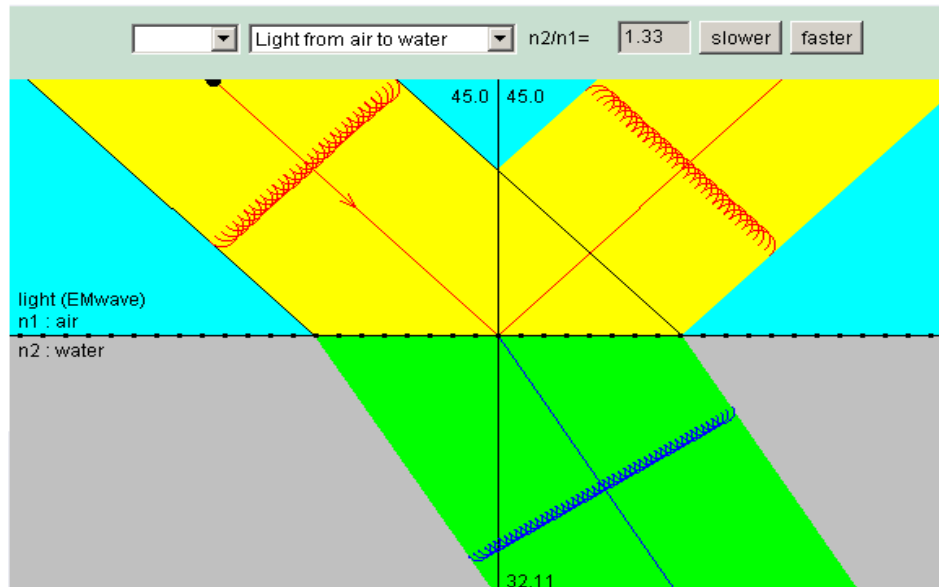


Figura 07: Tela de Simulador (Reflexão e Refração)

Fonte: Walter Fendt - www.phy.ntnu.edu.tw/java/propagation/propagation.html

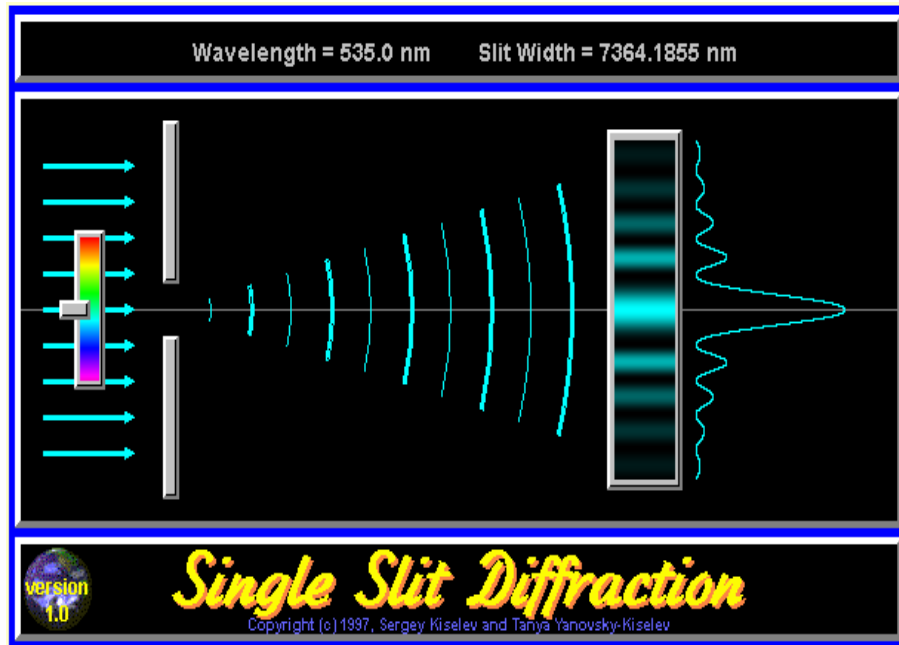


Figura 08: Tela de Simulador (Difração)

Fonte: Sergey Kiselev e Tanya Yanovsky-Kiselev-
<http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica3/laboratorio/difracao/difracao.htm>

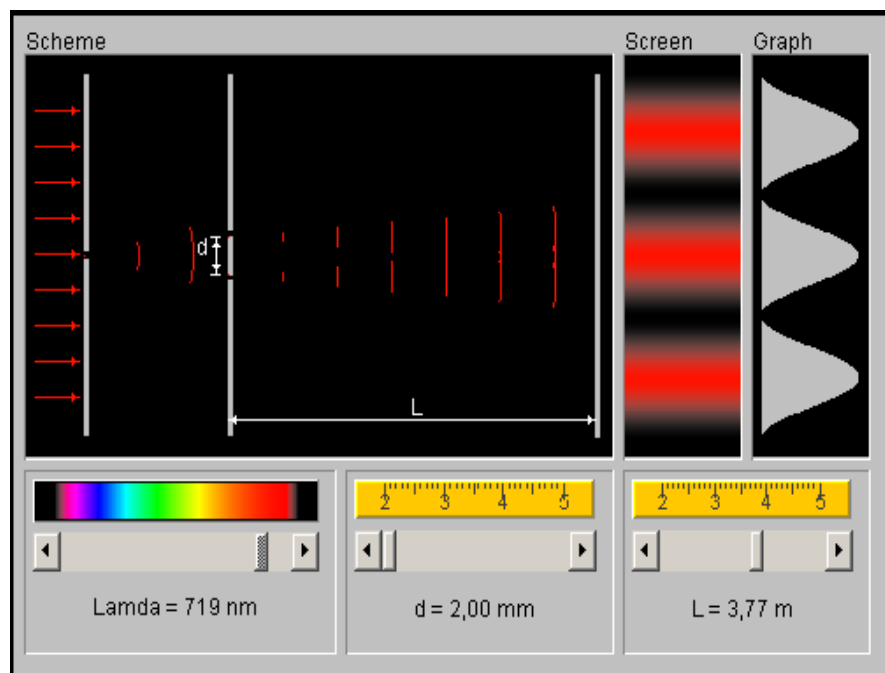


Figura 09: Tela de Simulador (Interferência)

Fonte: vsq.quasihome - <http://vsq.quasihome.com/interfer.htm>

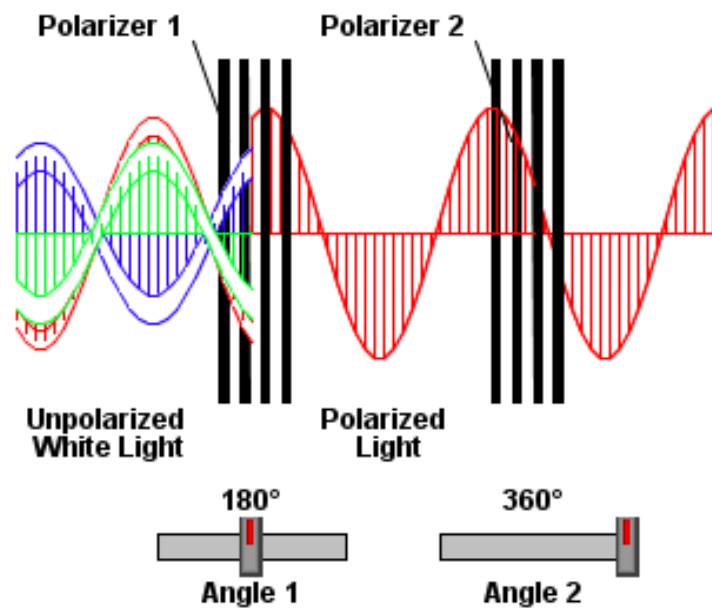


Figura 10: Tela de Simulador (Polarização)

Fonte: Michael W. Davidson

- <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/java/polarizedlight/filters/index.html>

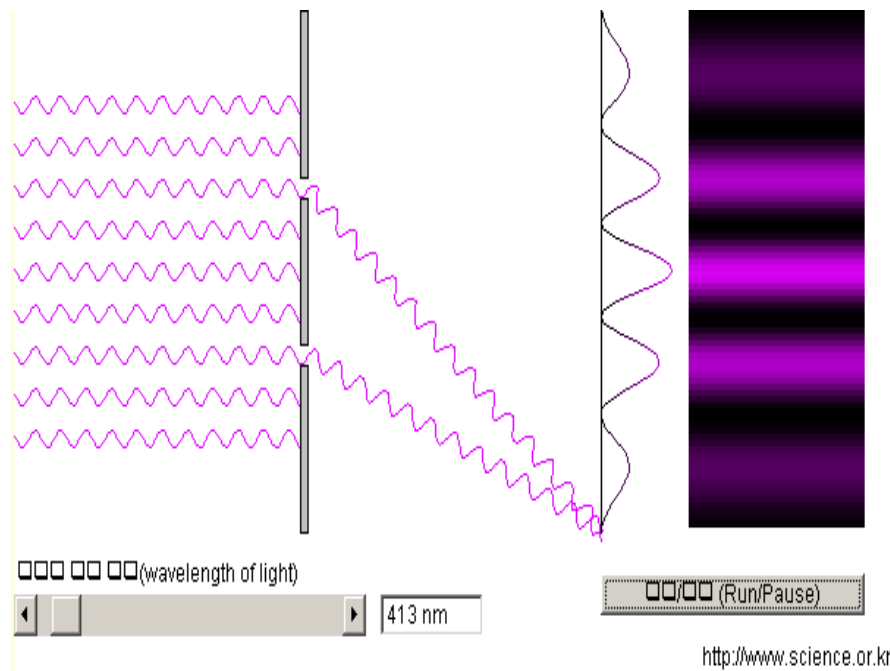


Figura 11: Tela de Simulador (Padrões de Interferência)

Fonte: www.science.or.kr

- <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica3/laboratorio/interferencia/interferencia.htm>

Devemos destacar que foi realizado um experimento com caneta laser em que o feixe atravessava uma placa com uma fenda (orifício) observando-se, assim, o padrão de interferência (regiões claras e escuras). Também, foi utilizado um fio de cabelo para observar o mesmo padrão de interferência. Esta atividade empolgou os estudantes, trazendo muito entusiasmo e expectativa à continuidade do curso. Também realizamos um experimento com uma placa metálica iluminada com luz ultravioleta, um eletroscópio, simulando o Efeito Fotoelétrico (próximo assunto do curso extracurricular). Esse encontro foi realizado no laboratório de informática da escola, onde cada dois estudantes dividiam um terminal de computador para a visualização e análise das simulações. A figura 12 demonstra o trabalho realizado pelos estudantes.



Figura 12: Aula no laboratório de informática

Portanto, o objetivo deste quarto encontro era de observar fenômenos ondulatórios que levaram a interpretação ondulatória da luz, dando a conhecer aos estudantes alguns pormenores destes fenômenos que contrariavam as idéias de Isaac Newton sobre o caráter corpuscular da luz. Ao final deste encontro, salientamos os tópicos a serem trabalhados no próximo encontro devido a sua relevância para o prosseguimento do curso.

Quinto Encontro (05/8/2004)

Após um recesso de quinze dias, foram retomados os trabalhos, neste quinto encontro, em que fizemos uma retomada daquilo do que havia sido abordado nas aulas anteriores. No entanto, o maior enfoque foi dado aos efeitos que corroboravam com a teoria corpuscular da luz: o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton. Assim foram mostradas aos estudantes algumas simulações que demonstram o caráter corpuscular da luz. Algumas destas simulações estão demonstradas através das figuras 13 a 15.

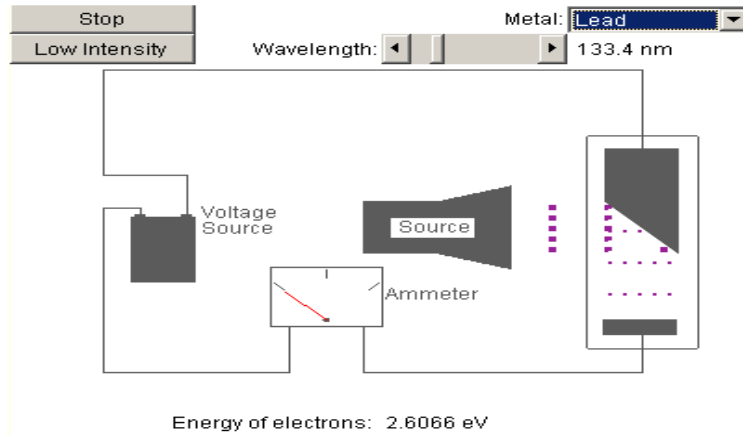


Figura 13: Tela de Simulador (Efeito Fotoelétrico)

Fonte: Phillip Warner

- <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica3/laboratorio/fotoeletrico/fotoeletrico.htm>

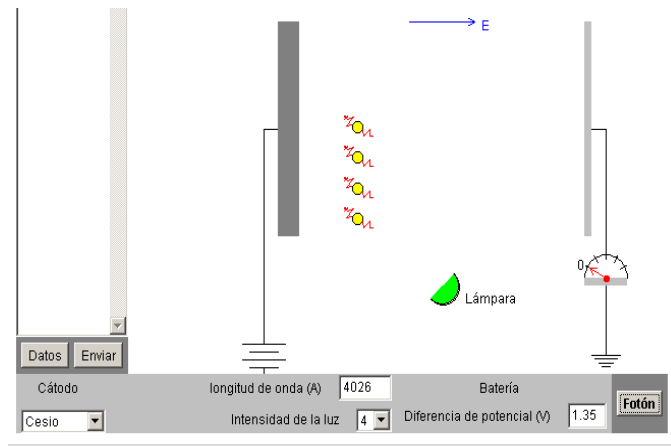


Figura 14: Tela de Simulador (Conclusões de Lenard)

Fonte: Ángel Franco García

- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoeletrico/fotoeletrico.htm>

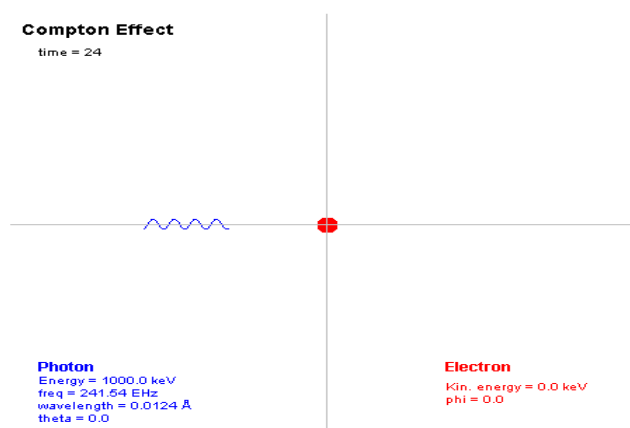


Figura 15: Tela de Simulador (Efeito Compton)

Fonte - http://www.d.kth.se/~f93-jhu/phys_sim/compton/Compton.htm

Portanto, as simulações apresentadas acima, tiveram o objetivo de mostrar, de maneira conceitual os fenômenos que levaram ao ressurgimento da teoria corpuscular da natureza da luz: o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton. O próximo encontro destinava-se a aprofundar estes conceitos importantes sobre a natureza da luz.

A figura 16 mostra um estudante acompanhando uma apresentação de slides no quinto encontro no laboratório de informática.



Figura 16: Apresentação do Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton

Sexto Encontro (12/8/2004)

Neste encontro, enfatizamos através de explicações mais detalhadas e de maneira quantitativa sobre Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton e Radiação do Corpo Negro. A figura 17 abaixo mostra o slide inicial desta aula, ressaltando os conteúdos a serem trabalhados.



Figura 17: Slide tema da Sexta aula teórica

Conforme já mencionado, neste encontro, trabalhamos o tema: Efeito Fotoelétrico com ênfase conceitual, as conclusões de Philip Lenard (1862 – 1947) que contrariavam a teoria ondulatória da luz, a proposta de Albert Einstein (1879 – 1955) dos quanta de luz e a expressão matemática para determinar a energia cinética dos fotoelétrons emitidos de uma placa metálica iluminada por ondas eletromagnéticas de determinada frequência.

Também, neste encontro, discutimos a importância do Efeito Compton como prova experimental da teoria dos quanta de luz, corroborando com a natureza corpuscular desta. Demonstramos, através de simuladores, o experimento realizado por Compton, em que fótons de raios-X são espalhados por uma nuvem de elétrons provocando o espalhamento dos mesmos. A figura 18 abaixo mostra o slide apresentado aos estudantes sobre o espalhamento Compton.

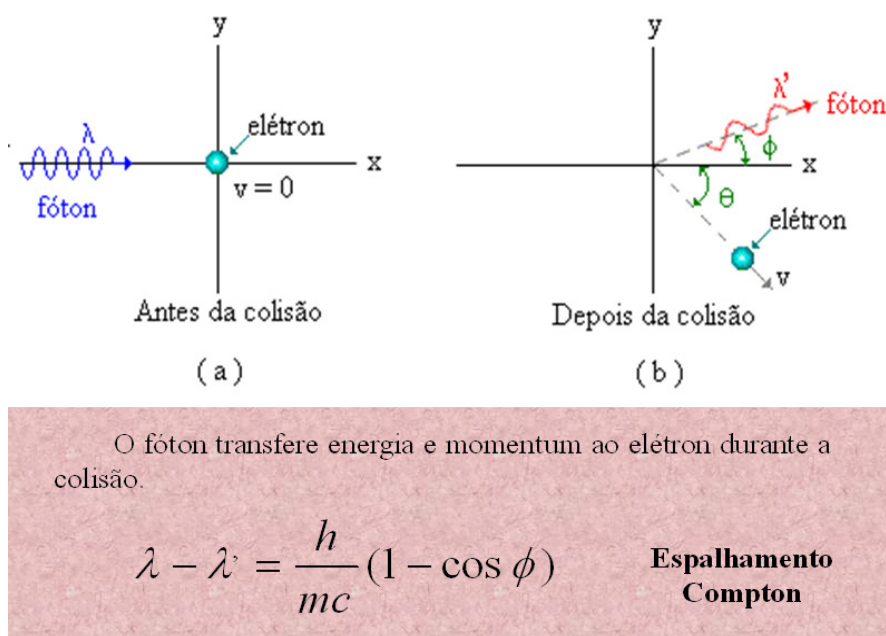


Figura 18: Slide sobre apresentação do Efeito Compton

Ao final deste encontro havíamos apresentado os fenômenos que comprovavam o caráter ondulatório da luz e, no mesmo encontro, mostramos fenômenos que corroboravam com o caráter corpuscular da luz. Com isso, os alunos não conseguiam formar um ponto de vista definitivo, pois, alguns opinavam que a luz era uma onda e outros tomaram a posição de que a luz era partícula. O próximo encontro ajudou-os a tomar uma posição mais concludente.

Sétimo Encontro (19/8/2004)

Neste encontro, enfatizamos dois tópicos importantes: a radiação do corpo negro e o caráter ondulatório de partículas. Concernente à radiação de corpo negro, foram apresentados às leis e contribuições de Kirchhoff, a definição de corpo negro, a lei de Stefan-Boltzmann, a lei do deslocamento de Wien, a lei de Rayleigh-Jeans (catástrofe do ultravioleta) e as conclusões de Max Plack. Veja a figura 19 que apresenta o slide que encerra esta primeira parte da aula.

Conclusões de Max Planck

Planck mostra que a energia emitida só existe na natureza em valores discretos, ou seja, a natureza tem um caráter descontínuo. Esse dado é completamente novo e contrário às concepções da física clássica.

$$I = \frac{8 \pi c h}{\lambda^5 \left(e^{\frac{ch}{\lambda k T}} - 1 \right)}$$

Onde h é a constante de Planck

Figura 19: Slide sobre as idéias de Max Planck

Para corroborar com a parte teórica desta apresentação, foram utilizados simuladores que auxiliaram na compreensão dos conteúdos trabalhados. Veja alguns das simulações utilizadas de acordo com as figuras 20 a 24.

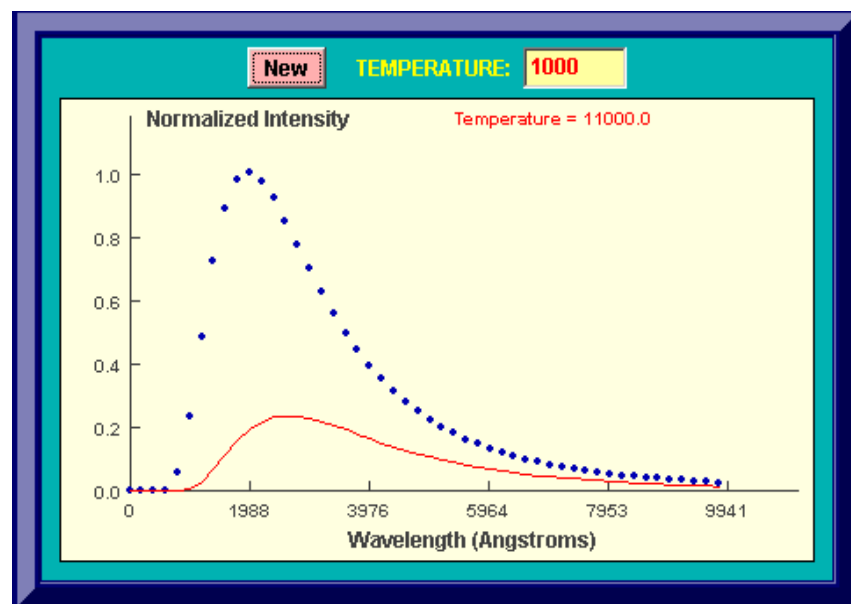


Figura 20: Tela de Simulador (Radiação Corpo Negro)

Fonte: <http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/light/blackbody.html>

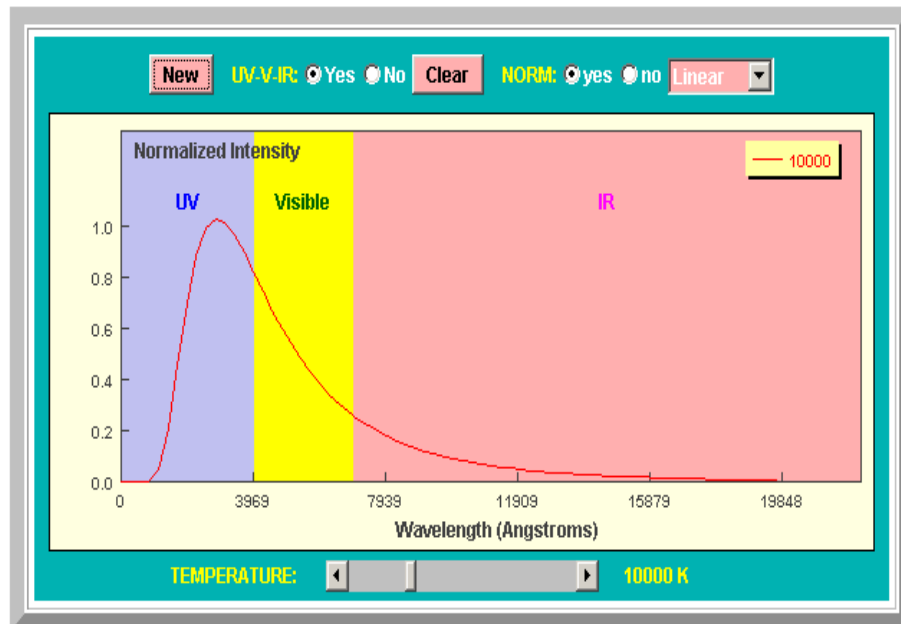


Figura 21: Tela de Simulador (Lei de Planck)

Fonte: <http://csep10.phys.utk.edu/guidry/java/planck/planck.html>

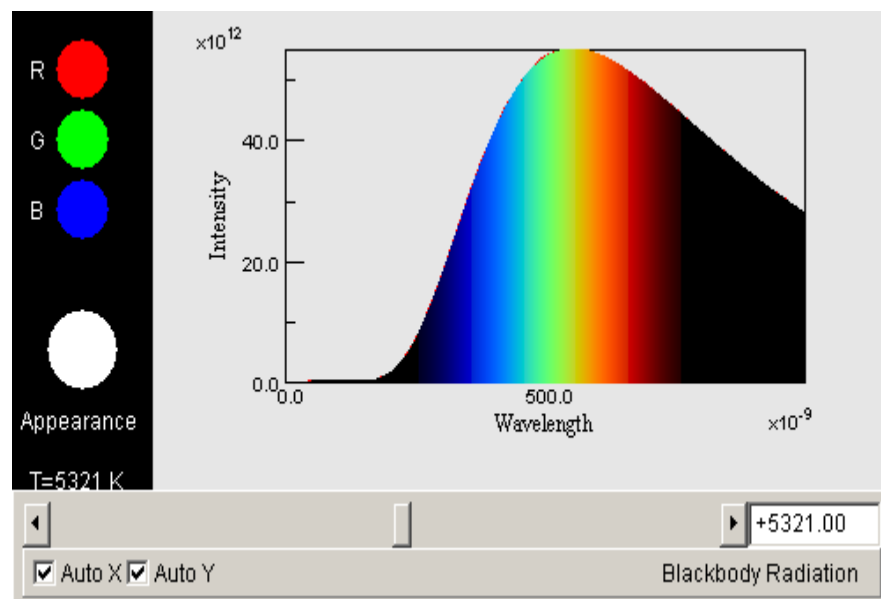


Figura 22: Tela de Simulador (Irradiação Térmica)

Fonte: Wolfquanq Christian - Davidson College Physlet
 - <http://geocities.yahoo.com.br/saladefisica3/laboratorio/irradiacao/irradiacao.htm>

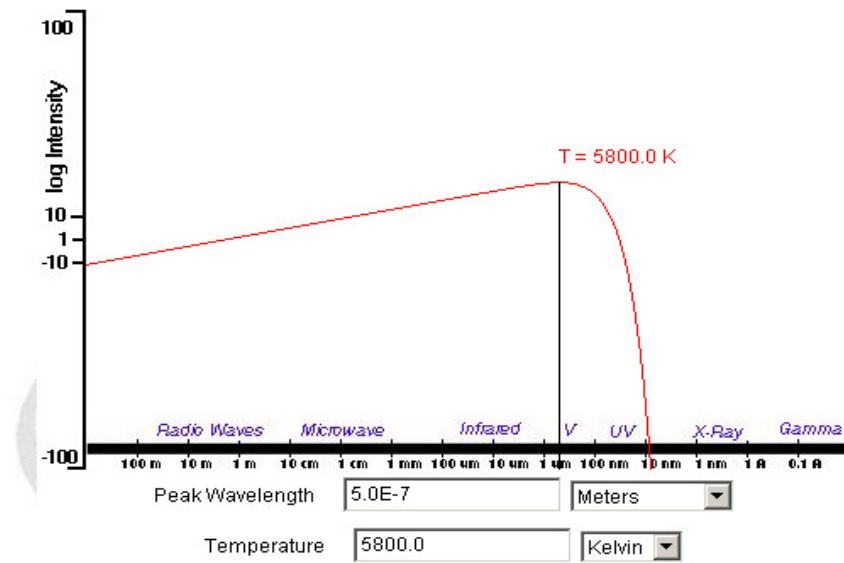


Figura 23: Tela de Simulador (Deslocamento de Wien)

Fonte: <http://guymcarthur.com/resources/java/applets/planck/>

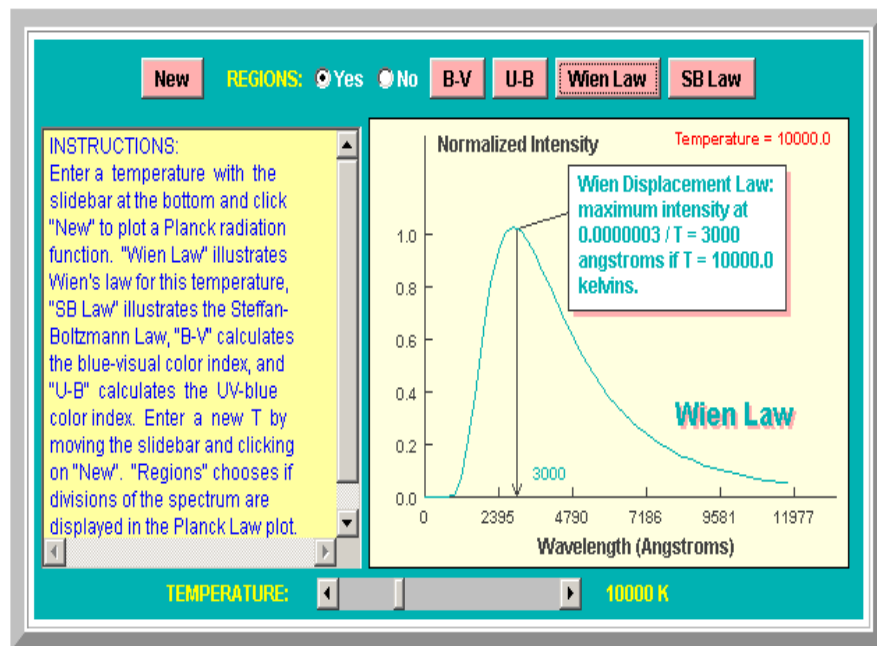


Figura 24: Tela de Simulador (Exercícios Radiação Corpo Negro)

Fonte: <http://csep10.phys.utk.edu/guidry/java/wien/wien.html>

Devido ao acúmulo de conteúdos e ao vários simuladores apresentados, a parte sobre o caráter ondulatório da matéria ficou para o oitavo encontro, porém os estudantes ficaram convencidos de que a energia emitida só existe na natureza em valores discretos ou descontínuos, além de aprenderem a definição de corpo negro.

Oitavo Encontro (26/8/2004)

Neste encontro trabalhamos, conforme já citado, no caráter ondulatório da matéria, isto é, a matéria tem comportamento dual assim como a luz tem tal comportamento. A figura 25 a seguir mostra o slide inicial deste tema.

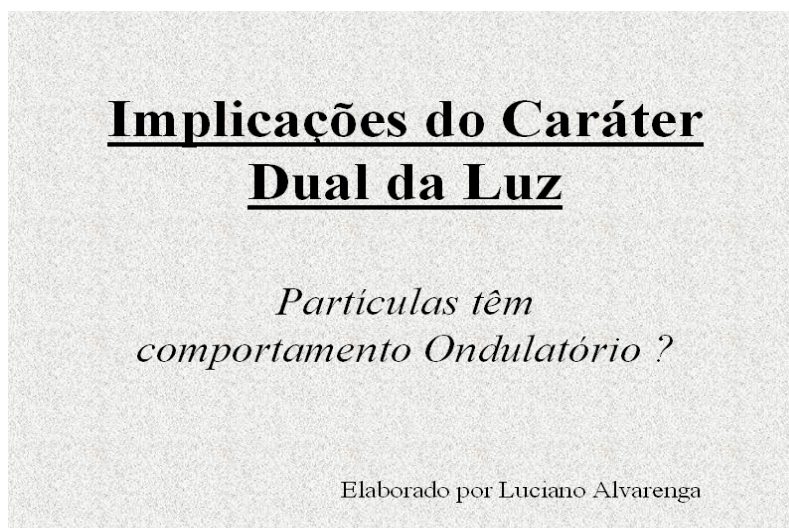


Figura 25: Slide Introdutório do oitavo encontro

Neste encontro trabalhamos assuntos como: hipótese de Louis Victor de Broglie (partículas tem comportamento ondulatório possuindo um comprimento de onda) e a comprovação experimental fornecida por Davisson-Germer (experiência do cálculo do comprimento de onda de um elétron) e a difração de elétrons por G. P. Thomson. A figura 26 apresentada abaixo mostra a idéia destes experimentos.

Percebemos aqui certa perplexidade por parte dos estudantes, como que não querendo aceitar que, por exemplo, um elétron (algo material para eles) poderia ser considerado ou associado a um comprimento de onda (característica ondulatória). Alguns ficaram incrédulos, porém aceitaram a informação e, mais tarde, perceberam esta idéia no experimento da Fenda Dupla.

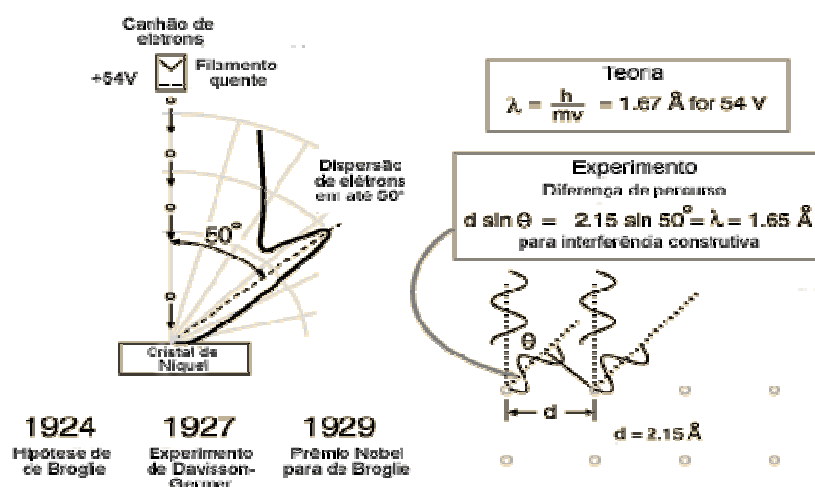


Figura 26: Comprovação experimental da hipótese de Louis de Broglie

Além das idéias inovadoras de Louis de Broglie, o oitavo encontro culminou com a introdução de alguns conceitos básicos de Mecânica Quântica, como mostra a figura 27.

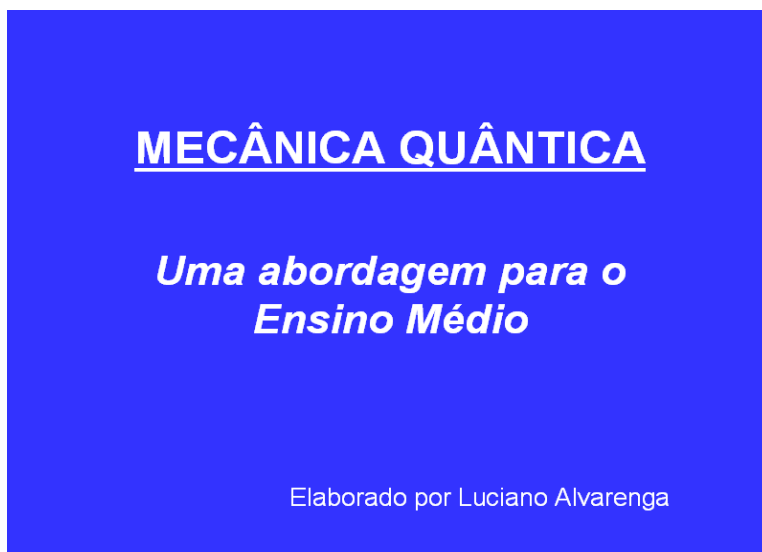


Figura 27: Slide introdutório da aula de Mecânica Quântica

Foram introduzidos aos estudantes conceitos tais como: aspectos a serem considerados (dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, problema da medição, experimento da fenda dupla com fótons e elétrons, etc), comparação entre definições clássicas e quânticas, possibilidades de definições da Mecânica Quântica, Mecânica Quântica Ondulatória, Equação de Schrödinger (apenas apresentada), função de onda, densidade de probabilidade e a hipótese de Louis de Broglie.

Devemos lembrar que o objetivo não foi o de tratar matematicamente os fenômenos, mas sim, como foi apresentado aos estudantes, mostrar conceitualmente os fenômenos e fatos que levaram ao surgimento da Mecânica Quântica. Para exemplificar isto, vamos apresentar abaixo a figura 28 em forma de slide sobre densidade de probabilidade.

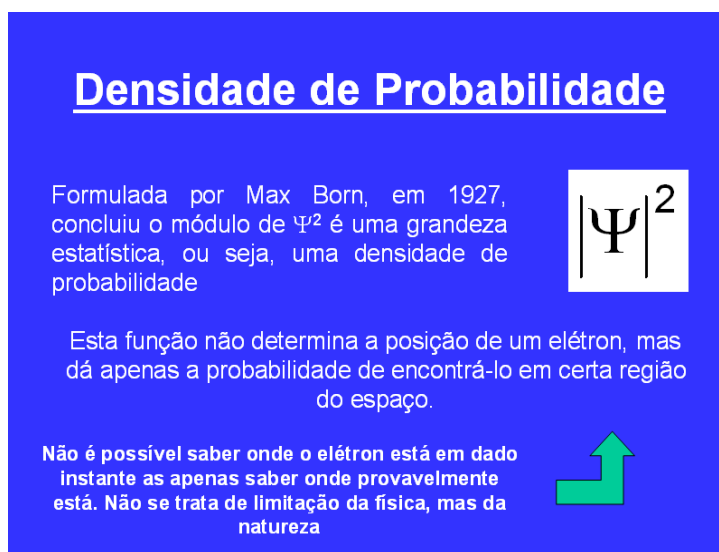


Figura 28: Slide sobre densidade de probabilidade

Portanto, ao final do oitavo encontro, os estudantes tiveram contato com conceitos quânticos, antagônicos aos conceitos clássicos que estavam acostumados a estudar nas aulas de Física do ensino médio. Constatamos que alguns tiveram dificuldades de assimilar parte dos conceitos apresentados, o que consideramos normal devido à complexidade do assunto e por estarem tendo o primeiro contato com estas informações.

Nono Encontro (02/9/2004)

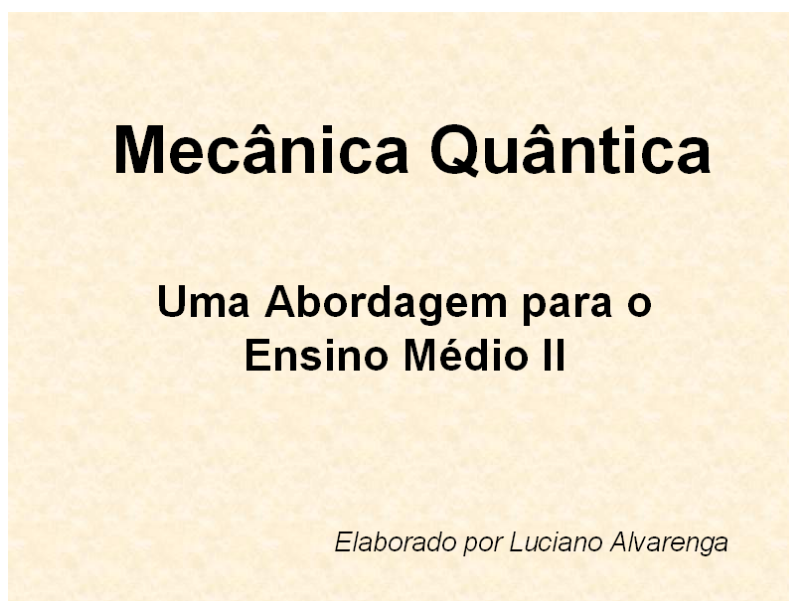


Figura 29: Slide introdutório do nono encontro

A figura 29 acima introduz o nono encontro pautado, principalmente, em três tópicos: o princípio da incerteza, a dualidade onda-partícula e o problema da medição na Mecânica Quântica. Este encontro serviu para reafirmar estes conceitos para que os estudantes pudessem identificá-los no encontro seguinte, ou seja, no experimento da fenda dupla com fótons e elétrons e no interferômetro de Mach-Zehnder. É importante salientarmos que não foi tratado quantitativamente o experimento utilizando o interferômetro de Mach-Zehnder e não fazia parte de nossa intenção fazer tal tratamento. Apenas nos interessamos em mostrar algumas situações, em que ousamos fazer uma transposição dos conteúdos de Mecânica Quântica trabalhados para o ensino médio, e, a partir destes, levantar questões, durante a aula, para que os estudantes pudessem tirar as conclusões cabíveis ao tema proposto. Aqui também foram utilizados simuladores para ajudar a ratificar os conceitos mencionados e facilitar a visualização dos mesmos, conforme apresentamos nas figuras 30 a 32.

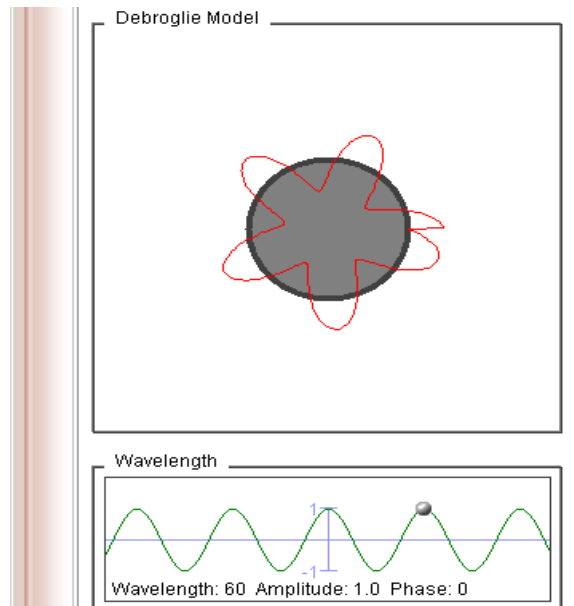


Figura 30: Tela de Simulador (Modelo de Broglie)

Fonte: Physik 2000 - <http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/quantumzone/debroglie.html>

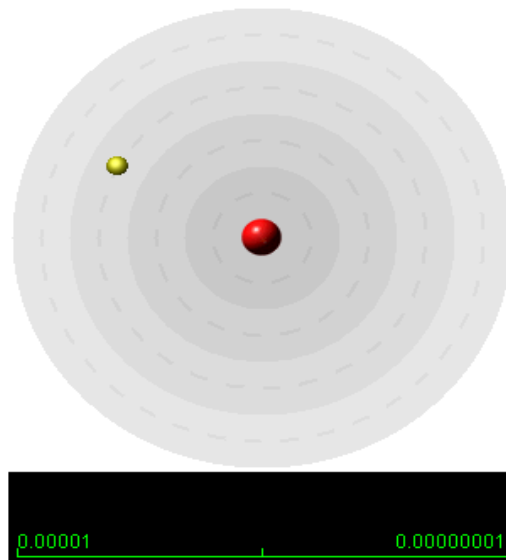


Figura 31: Tela de Simulador (Átomo de Bohr)

Fonte: Physic 2000 - <http://www.iap.uni-bonn.de/P2K/quantumzone/lines2.html>

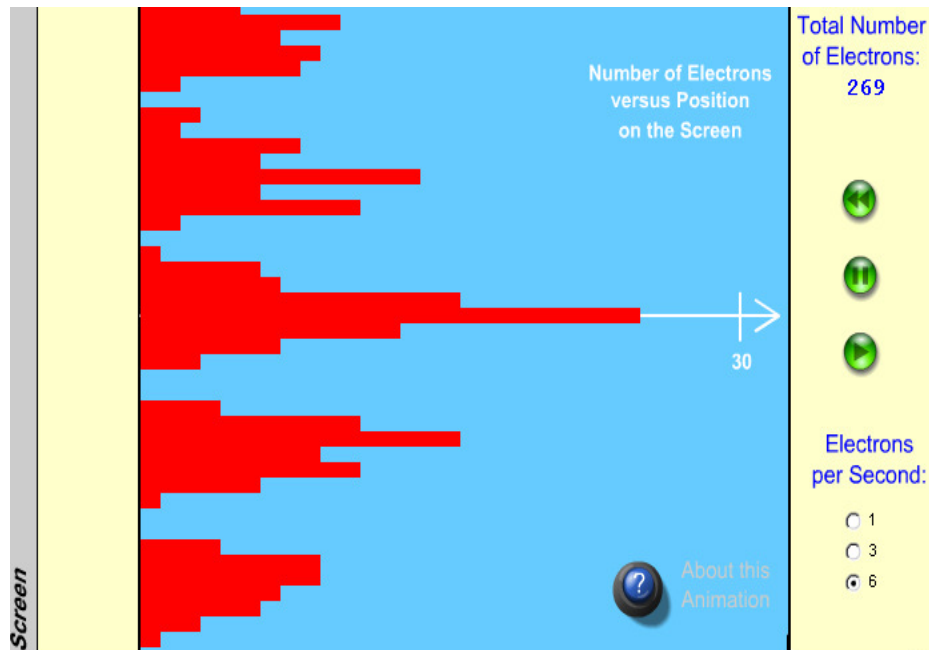


Figura 32: Tela de Simulador (Experiência Fenda Dupla com Elétrons)

Fonte: <http://www.upscale.utoronto.ca/PVB/Harrison/DoubleSlit/Flash/Histogram.html>

Portanto, ao término do nono encontro foram reforçados os temas: princípio da incerteza, dualidade onda-partícula e o problema da medição, pois no décimo encontro utilizaríamos estes conceitos, diretamente, na interpretação dos fenômenos que ocorreriam no interferômetro de Mach-Zehnder e no experimento da Fenda Dupla com fótons e elétrons.

Décimo Encontro (09/9/2004)

Neste décimo encontro, utilizamos o simulador do interferômetro de Mach-Zehnder e o simulador do experimento da Fenda Dupla para discutir os conceitos quânticos trabalhados no encontro anterior.

Primeiro, utilizamos o simulador do interferômetro de Mach-Zehnder para reproduzir o experimento clássico de interferência com luz laser para mostrar fenômenos como a difração da luz e a formação de padrões de interferência, comprovando o caráter ondulatório da luz. A figura 33 abaixo mostra este padrão de interferência, bem como o arranjo experimental utilizado.

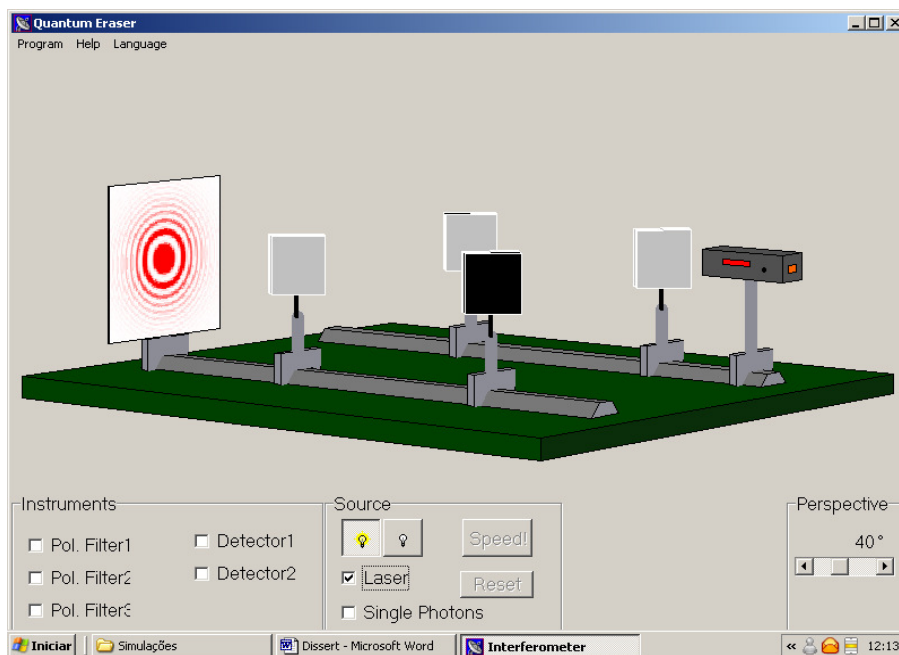


Figura 33: Interferômetro Mach-Zehnder (Experiência com luz laser)

A seguir, simulamos o mesmo experimento com fótons individuais e levantamos uma questão: O que poderia acontecer? Seria observado um padrão de interferência? Veja a figura 34 e note a tela de projeção.

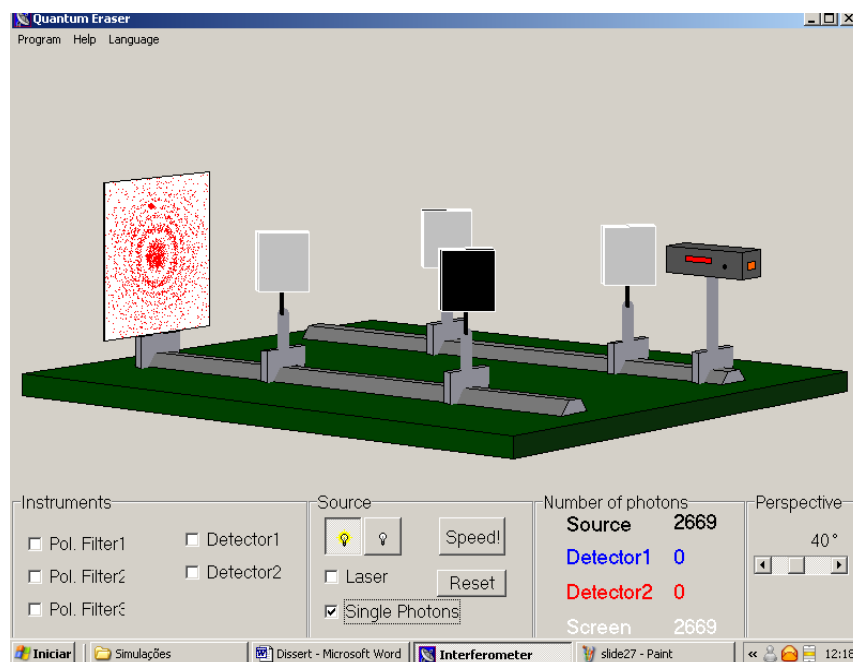


Figura 34: Interferômetro Mach-Zehnder (Experiência com fótons individuais)

Então, realizamos o mesmo experimento com fótons individuais, mas no simulador de fenda dupla. Veja a figura 35 abaixo que mostra a mesma situação apresentada no interferômetro de Mach-Zahnder.

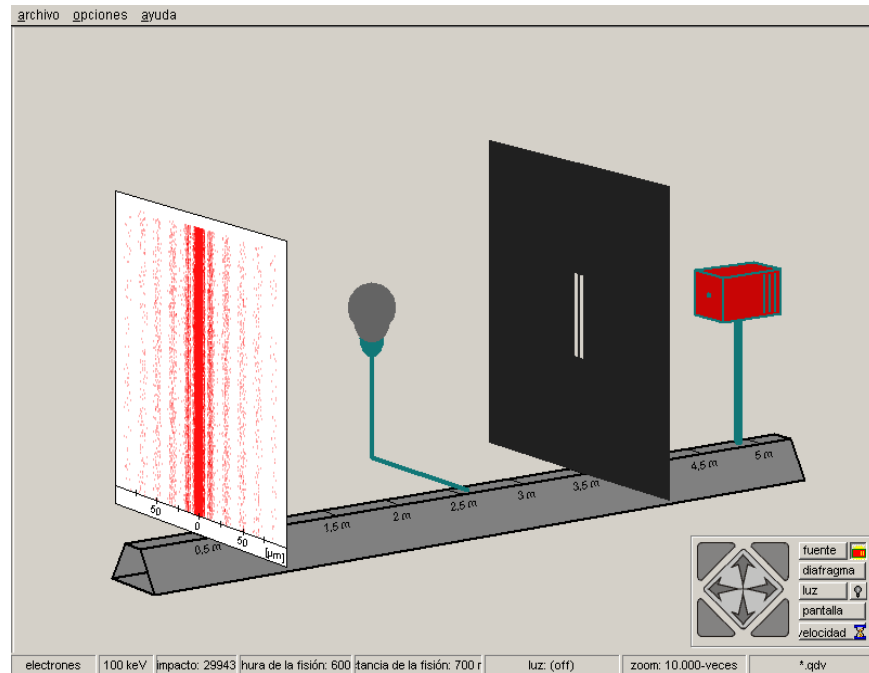


Figura 35: Experimento Fenda Dupla (Fótons Individuais)

Com estas últimas figuras acima, algumas perguntas foram levantadas: Por onde estão passando os fótons individuais? No caso da experiência da fenda dupla, por qual fenda está passando o fóton? Ao passar por uma das fendas, o fóton individual sofre interferência para gerar o padrão observado? Ao tentarmos identificar a fenda por onde está passando o fóton, observaríamos o mesmo padrão de interferência? O fóton se dividiria ao meio para produzir a interferência e o respectivo padrão observado? Estaria o fóton passando, simultaneamente, pelas duas fendas? No caso do interferômetro de Mach-Zehnder, a colocação de filtros polaróides alteraria o padrão de interferência? E com a presença dos detectores de fótons, seria ainda observado o mesmo padrão de interferência?

Estas perguntas foram respondidas com base no conhecimento já adquirido de alguns conceitos básicos de mecânica quântica, principalmente: o princípio da incerteza, a dualidade onda-partícula e o problema da medição, além do caráter probabilístico intrínseco à mecânica quântica.

Os estudantes perceberam que ao tentarmos medir uma grandeza (atributo quântico), perdiam informações sobre outra grandeza, isto é, quanto maior a certeza numa das grandezas, maior a incerteza de outra grandeza. Isto é ilustrado, quando colocamos um detector de fótons para determinar por onde eles passam. Veja a figura 36 a seguir.

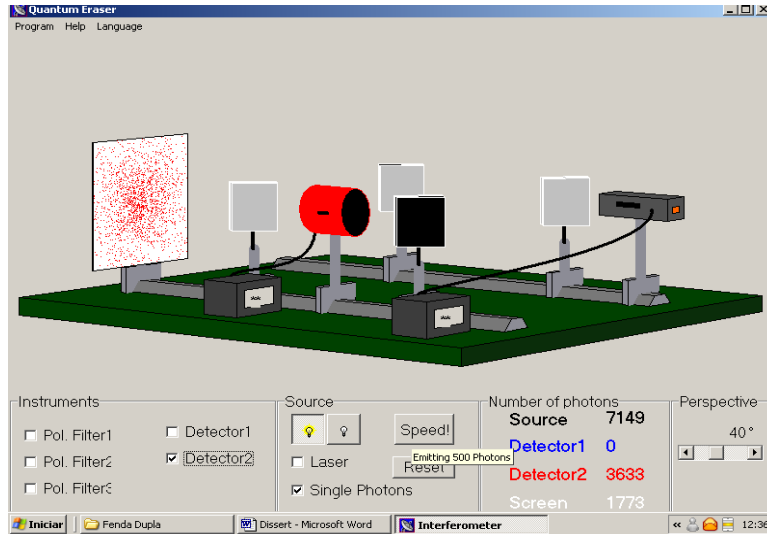


Figura 36: Interferômetro de Mach-Zehnder (Fótons com Detector de Passagem)

Os estudantes observaram a destruição do padrão de interferência por que, segundo eles, a certeza numa grandeza acarreta incerteza de outra grandeza quântica, ou seja, medindo por onde passa o fóton há um colapso da função de onda o que provoca a destruição do padrão de interferência. Outra conclusão que chegamos durante o encontro é que o fóton tem caráter ondulatório e, portanto, ao passar por uma das fendas (50% de chance de passar por uma das fendas) interfere e produz o padrão de interferência, isto é, o fóton é uma onda que sofre interferência (dualidade onda-partícula).

As perguntas lançadas para os estudantes foram as seguintes: O que aconteceria se em vez de fótons fossem utilizados elétrons? Ainda seria observado um padrão de interferência? O elétron produz difração e interferência? E por qual das fendas ele passaria?

Portanto, nesta parte da aula foi dada atenção ao que aconteceria, nas mesmas condições realizadas com fótons individuais, com os elétrons na experiência da fenda dupla. Veja a figura 37 que demonstra a difração e interferência de elétrons individuais.

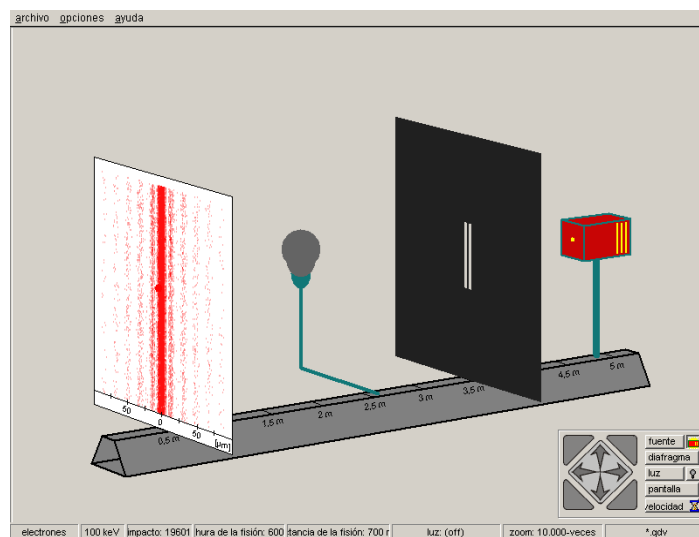


Figura 37: Experimento Fenda Dupla (Elétrons Individuais)

Os estudantes notaram que o padrão de interferência era produzido fazendo-se a experiência com elétrons individuais, o que os levou a conclusão que associado ao elétron há um comprimento de onda, ou seja, o elétron pode ser encarado com uma onda e, portanto, justifica-se a observação do padrão de interferência. Mas, o que aconteceria se definíssemos por qual fenda passou o elétron? Veja a figura 38 que exemplifica esta situação.

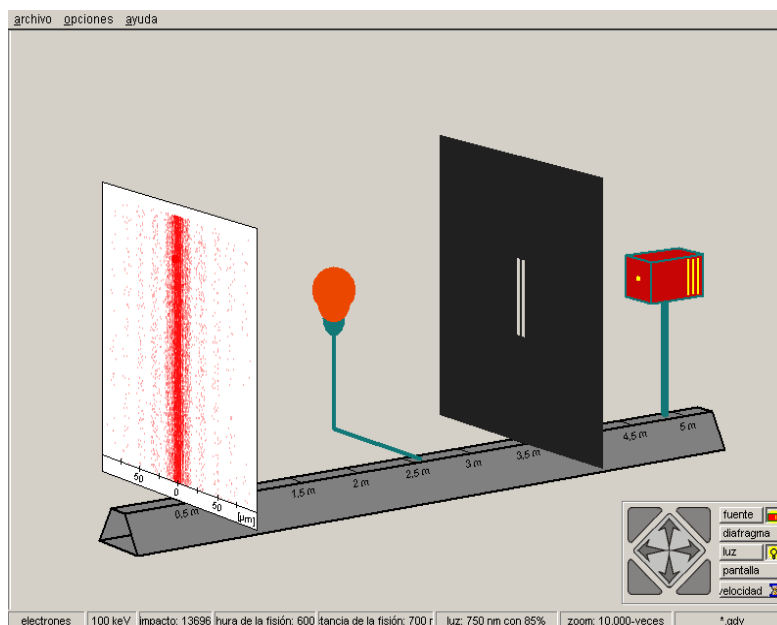


Figura 38: Experimento Fenda Dupla (Elétrons Individuais com luz acesa)

Neste caso, colocando a lâmpada para visualizar por qual das fendas passa o elétron, também há a destruição do padrão de interferência. Este fato foi identificado como problema de se medir um atributo ou grandeza na Mecânica Quântica.

Portanto, os alunos, ao fim do encontro, concluíram que a luz, assim como toda a matéria é dual, ou seja, dependendo o experimento utilizado ela se comportará como onda ou partícula. Assim, respondida a pergunta focal curso, as apresentações teóricas do assunto terminaram.

Décimo Primeiro Encontro (16/9/2004)

Neste último encontro, os estudantes realizaram um pós-teste, sendo que, na realidade, aplicamos o mesmo teste no início de nosso curso, com o intuito de verificar se houve aprendizagem significativa por parte deles e buscar parâmetros para guiar a produção do material gerado a partir das idéias e conclusões tiradas durante o curso. A figura 39 mostra uma dos estudantes realizando o pós-teste.

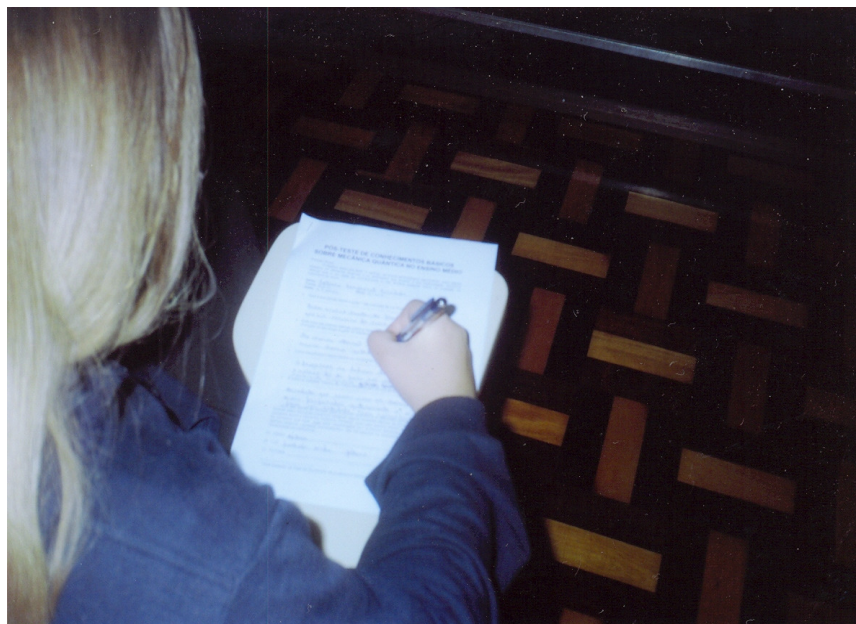


Figura 39: Estudante Realizando o Teste

Um aspecto a ser salientado, neste encontro, é que dos 23 alunos inscritos 20 realizaram o pós-teste, o que demonstrou a pré-disposição dos estudantes para a aprendizagem dos conteúdos, bem como interesse em aprofundar seus conhecimentos sobre o tema proposto. Ademais, o empenho e a dedicação dos mesmos devem ser salientados durante a realização do curso e, sem dúvida, foram de exemplo e auxílio para a produção do produto final deste trabalho. A figura 40 mostra os estudantes no local de realização do curso.



Figura 40: Grupo de Trabalho

Entregamos, no final deste encontro, um certificado contendo a participação dos estudantes, a carga horária do curso, o período de realização e os conteúdos programáticos. O certificado foi assinado pela diretora da escola e pelo professor ministrante (ver anexo F).

VI. 2. Análise dos Resultados e Depoimentos

O curso extracurricular teve vinte e três inscritos no seu início, sendo que três estudantes desistiram no decorrer das atividades e, portanto, vinte estudantes realizaram o pós-teste final encerrando as aulas teóricas.

A faixa etária dos vinte estudantes concludentes varia de 15 a 18 anos sendo que oito estudantes com 15 anos de idade, dez estudantes com 16 anos, um estudante com 17 anos e apenas um estudante maior de idade com 18 anos de idade.

Dos vinte estudantes entrevistados, doze nunca leram algo a respeito de Mecânica Quântica nem sabiam sobre o que iriam aprender no curso, porém oito estudantes já haviam lido algo de Mecânica Quântica, como livros (Uma Breve História do Tempo, Universo numa Casca de Noz, etc), revistas (Superinteressante) e até mesmo jornais (Zero Hora, Correio do Povo, etc).

Dos vinte estudantes, todos (100%) consideravam interessante o estudo da Mecânica Quântica na escola e na formação de um cidadão mais consciente da realidade e dos fatos cotidianos, inclusive aqueles que nunca tinham ouvido falar de Mecânica Quântica, estes influenciados pelo professor e as conversas com colegas que já haviam lido ou estudado algo a respeito do assunto, passaram a ter curiosidade, o que justifica seu interesse. Outro fator que contribuiu para esse interesse, apesar do desconhecimento do assunto, foi o vestibular, como observamos na fala e entrevista de alguns estudantes. Também devemos destacar que todos os estudantes (100%) achavam importante à inserção da Física Moderna no ensino médio, muito devido ao vestibular, assim como, a relevância sócio-científica do tema abordado, o que era esperado desde o início do curso.

Outra questão formulada aos estudantes foi sobre como tiveram contato com a Mecânica Quântica, ou seja, como ouviram falar da Mecânica Quântica e do curso que seria realizado na escola. Dez estudantes ouviram algo sobre Mecânica Quântica do seu professor de Física, oito estudantes através da leitura de livros e revistas e dois estudantes através de amigos que lhes falaram algo sobre Mecânica Quântica. Devemos salientar três estudantes assinalaram mais de uma opção neste campo, porque além de lerem sobre o assunto, comentavam com colegas e ouviram falar de seu professor de Física.

Outro dado interessante é que dezesseis estudantes não sabiam apontar nenhuma aplicação tecnológica da Mecânica Quântica e quatro estudantes apontaram algumas aplicações como as que vamos reproduzir: armas nucleares, televisão, computador, física nuclear e aparelhos eletrônicos. Além do mais, dezenove estudantes não sabiam a diferença entre Física Moderna e Mecânica Quântica, e apenas um estudante esboçou em colocar alguns tópicos que diferenciam estes dois temas. O comentário deste estudante está transcrito abaixo:

“A Física Moderna tem como base a teoria da Relatividade e se refere ao extremamente grande. Já a Mecânica Quântica refere-se ao extremamente pequeno, tendo alguns pontos conflitantes com o primeiro. O maior desafio da atualidade é unir essas teorias formando a chamada Teoria da Gravitação Quântica, dando as respostas para as perguntas que nos cercam sobre buraco de minhoca, buraco negro, Big Bang e o que houve antes dele,.....”

Após a entrevista escrita, os estudantes foram solicitados a escrever cinco palavras ou conceitos que julgavam estar relacionado com cada palavra fornecida. Como o teste visava apenas avaliar conceitos pré-existentes, não havendo julgamentos de certo ou errado, então, os estudantes não precisavam justificar a sua resposta. Apresentamos, nas tabelas de 01 a 03, o número de palavras e conceitos escritos pelos estudantes para cada uma das 18 palavras listadas no pré-teste e no pós-teste. Não vamos, rigorosamente, fazer uma avaliação desta questão, mas apenas apontar a quantidade de palavras ou conceitos transcritos, sem nos preocupar se estão corretos ou não, conforme já assinalado nos testes realizados pelos estudantes. O fato de dividirmos em três tabelas deve-se ao número de palavras (18 palavras selecionadas no total), o que, por tabela, constam seis palavras.

Tabela 01: Resultado da Quantidade de Palavras Transcritas pelos Estudantes – 1

Nomes	Visão		Luz		Fótons		Onda		Partícula		Quant. de Movimento	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
Aluno 1	3	4	2	4	1	5	2	5	3	5	4	4
Aluno 2	3	5	5	5	5	4	5	3	4	4	5	4
Aluno 3	2	3	2	5	1	3	2	2	1	1	0	1
Aluno 4	5	3	5	3	5	3	4	4	4	2	2	2
Aluno 5	4	5	3	5	1	5	1	4	1	3	1	3
Aluno 6	2	5	3	5	2	5	2	5	2	5	4	5
Aluno 7	3	1	2	3	1	2	3	1	0	3	2	1
Aluno 8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Aluno 9	Desistente											
Aluno 10	5	5	2	5	3	5	3	5	4	5	4	5
Aluno 11	Desistente											
Aluno 12	3	3	5	5	3	4	2	3	2	3	1	2
Aluno 13	5	4	5	5	2	5	1	5	2	4	2	2
Aluno 14	2	3	1	2	0	2	0	5	0	2	1	0
Aluno 15	4	4	5	5	1	4	5	4	0	4	4	3
Aluno 16	3	3	5	4	5	4	3	3	1	2	5	2
Aluno 17	Desistente											
Aluno 18	2	3	2	3	0	2	0	1	1	2	0	1
Aluno 19	1	2	3	5	1	4	1	5	2	5	0	1
Aluno 20	5	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	5
Aluno 21	2	1	3	4	3	2	3	3	1	2	5	3

Aluno 22	4	3	3	5	0	3	0	3	3	4	2	2
Aluno 23	4	5	5	5	1	5	2	5	0	5	0	5

Tabela 02: Resultado da Quantidade de Palavras Transcritas pelos Estudantes – 2

Nomes	Energia		Elétrons		Dualidade onda-partícula		Efeito Fotoelétrico		Célula Fotoelétrica		Comprimento de Onda	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
Aluno 1	4	5	3	5	3	5	4	5	2	4	3	4
Aluno 2	5	3	5	3	3	3	3	4	4	2	5	4
Aluno 3	3	2	1	5	0	1	1	1	1	2	1	1
Aluno 4	4	3	3	3	3	4	5	4	3	1	3	1
Aluno 5	1	2	1	3	2	3	1	3	1	3	1	3
Aluno 6	2	5	4	5	1	5	3	5	4	5	2	5
Aluno 7	1	1	1	3	0	2	2	3	0	0	0	0
Aluno 8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Aluno 9	Desistente											
Aluno 10	4	5	2	5	5	5	1	5	0	5	1	5
Aluno 11	Desistente											
Aluno 12	2	3	2	2	3	4	3	2	1	4	2	3
Aluno 13	3	5	5	2	1	3	3	4	3	2	1	1
Aluno 14	0	3	1	4	0	1	1	2	0	1	0	0
Aluno 15	5	3	4	5	2	2	1	2	1	4	2	2
Aluno 16	5	4	4	4	4	1	3	4	3	4	3	3
Aluno 17	Desistente											
Aluno 18	1	2	1	0	0	1	1	1	2	2	1	2
Aluno 19	5	5	1	5	0	4	5	2	0	0	0	2
Aluno 20	5	5	3	5	5	5	2	5	4	5	2	5
Aluno 21	5	1	2	4	1	1	3	5	2	4	1	2
Aluno 22	1	3	0	2	0	2	0	5	0	2	0	1
Aluno 23	3	5	5	5	0	5	0	5	0	5	0	5

Tabela 03: Resultado da Quantidade de Palavras Transcritas pelos Estudantes – 3

Nomes	Frequência		Interferência		Difração		Princípio da Incerteza		Probabilidade		Medição	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
1. Aluno 1	3	4	2	5	3	5	2	3	3	4	3	5
2. Aluno 2	4	4	4	5	4	4	1	2	3	4	3	5
3. Aluno 3	1	1	1	1	0	1	0	3	0	1	1	2
4. Aluno 4	3	3	3	5	0	3	3	3	4	2	3	3
5. Aluno 5	1	3	1	4	0	4	2	5	1	5	2	3
6. Aluno 6	3	5	3	5	3	5	1	5	2	5	4	5
7. Aluno 7	2	1	0	1	1	1	4	1	2	0	0	3
8. Aluno 8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
9. Aluno 9	Desistente											
10. Aluno 10	1	5	3	5	0	5	3	5	5	5	5	5
11. Aluno 11	Desistente											
12. Aluno 12	2	2	0	2	2	2	3	4	4	3	2	2
13. Aluno 13	3	1	4	4	1	2	1	1	2	2	2	2
14. Aluno 14	0	3	0	2	0	1	0	1	0	0	3	2
15. Aluno 15	1	4	2	3	1	5	2	3	3	5	4	3
16. Aluno 16	5	3	4	4	3	3	4	3	2	2	4	2
17. Aluno 17	Desistente											
18. Aluno 18	1	2	1	2	1	0	0	0	1	1	1	1
19. Aluno 19	1	5	0	5	0	4	0	5	0	4	0	5
20. Aluno 20	4	5	1	5	0	5	2	5	2	5	4	5
21. Aluno 21	2	1	3	2	5	5	4	3	1	1	4	2
22. Aluno 22	1	4	0	5	0	2	5	5	5	5	4	5
23. Aluno 23	1	5	2	5	0	5	2	5	0	4	0	5

Para a maioria dos estudantes, houve aumento na quantidade de palavras e conceitos transcritos no pós-teste, o que se justifica pelo trabalho realizado. No entanto, alguns alunos obtiveram uma diminuição nas palavras e termos escritos no teste, talvez por displicência ou pressa para terminar o teste. Também não podemos descartar a possibilidade de o estudante, no pré-teste, colocar termos sem sentido ou fora do contexto da palavra solicitada e, ao realizar o pós-teste, dar-se conta de que aquela palavra ou conceito não estava de acordo com o solicitado. No entanto, não nos cabe destacar os motivos que levaram a diminuição na quantidade de palavras ou conceitos transcritos, nem determinar o quanto e como cada aluno se desenvolveu com a participação no curso. Porém, utilizando-se de observações que anos de magistério nos proporcionam, de qualquer modo, devemos destacar a qualidade e o interesse mostrado pela maioria dos estudantes durante a realização do curso. Essa percepção pessoal, sem dúvida, permite afirmar que houve crescimento cognitivo na maioria dos participantes, inclusive do ministrante, ajudando-nos a buscar subsídios para a elaboração de um material que contempla as necessidades didáticas dos alunos.

Também colocamos, no pré-teste e no pós-teste, questões teóricas de múltipla escolha, contemplando os vários temas desenvolvidos durante o curso extracurricular. Os testes continham 18 questões, com quatro opções de resposta cada, envolvendo os seguintes conteúdos: Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Radiação Eletromagnética, Quantização de Energia, Difração de Elétrons, Comportamento Dual de Fótons e Elétrons, Difração e Interferência da Luz, Experiência da Fenda Dupla, Princípio da Incerteza, Problema da Medição na Mecânica Quântica, Caráter Probabilístico e Experimento de Difração e Interferência de Fótons e Elétrons individuais.

Os gráficos 01 a 04 abaixo mostram a quantidade de acertos por estudante, ou seja, quantas questões cada estudante acertou no pré-teste e no pós-teste. Devemos lembrar que o pré-teste e o pós-teste são de mesmo teor, apresentando as mesmas questões propostas.

Gráfico 01: Número de Acertos por Estudante – 1

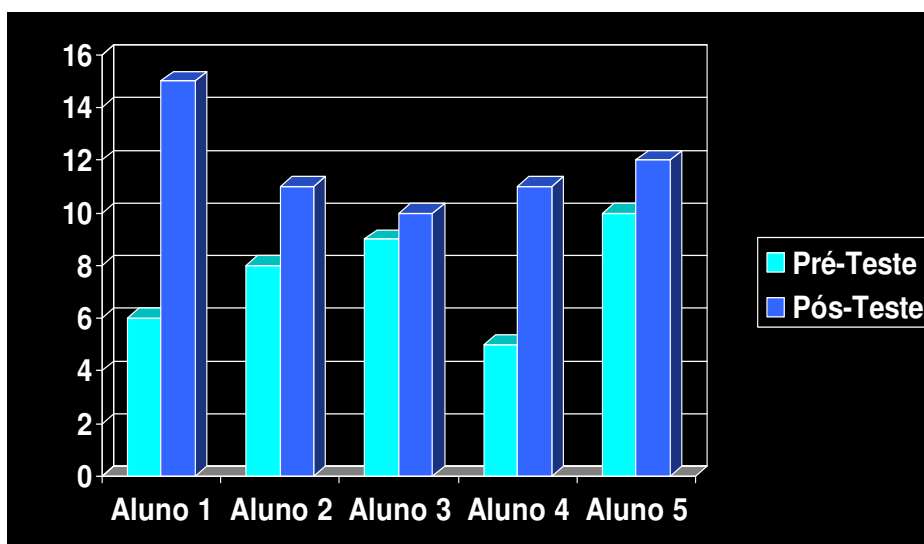


Gráfico 02: Número de Acertos por Estudante – 2

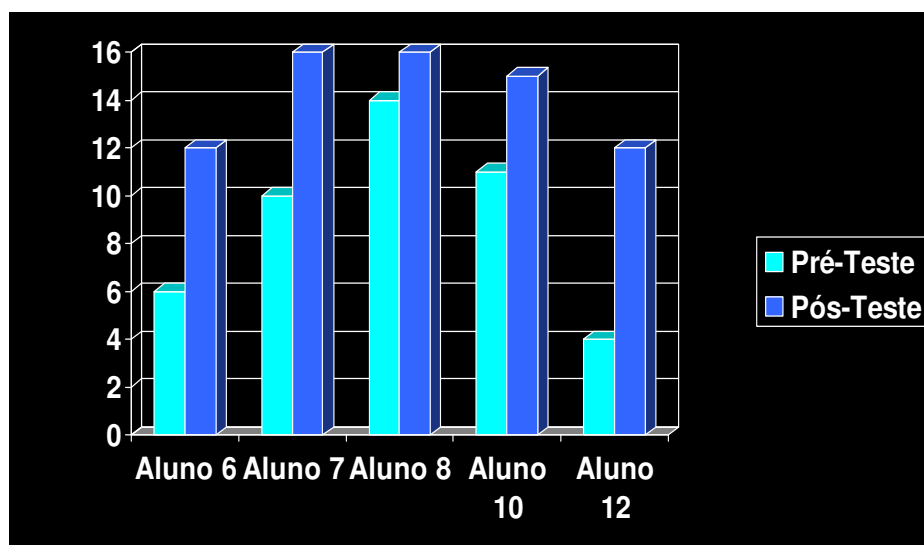


Gráfico 03: Número de Acertos por Estudante – 3

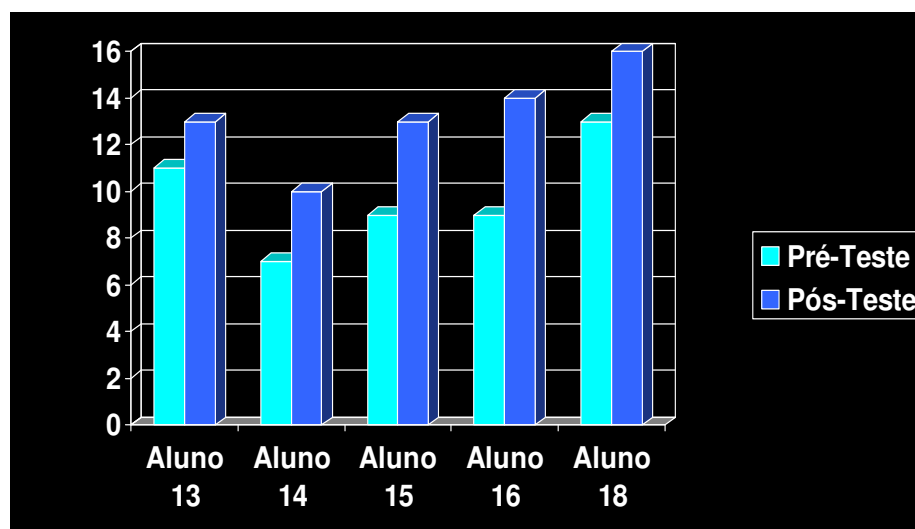
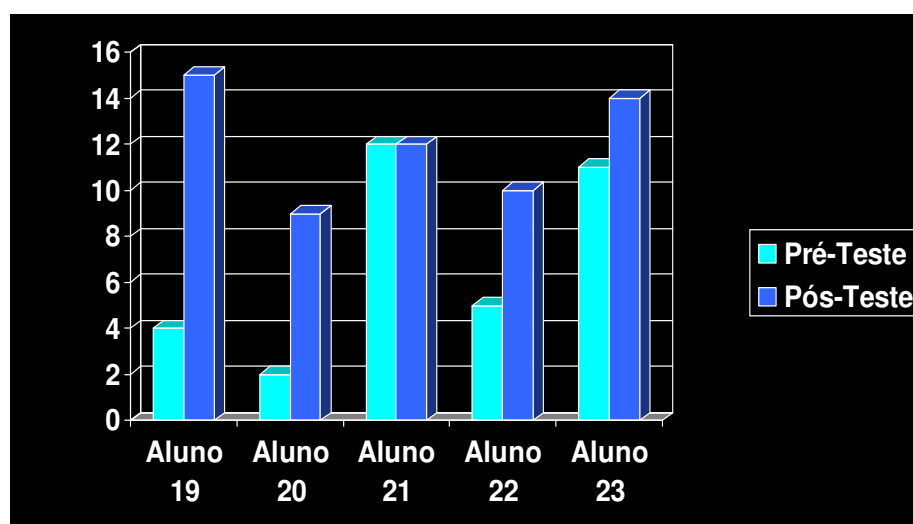


Gráfico 04: Número de Acertos por Estudante – 4



Analisando os gráficos acima podemos verificar que apenas o Aluno 21 não obteve percentual de aumento acertando o mesmo número de questões no pré-teste e no pós-teste, sendo que a maior parte dos estudantes obtiveram um aumento significativo no número de questões. O Aluno 3 obteve apenas um acerto a mais em relação aos testes aplicados. Algo que pode justificar o baixo rendimento apresentado são as faltas destes alunos e o atraso que tiveram em algumas aulas.

Pelos dados acima, podemos concluir, presumidamente, que houve aprendizagem significativa, conforme os dados levantados e a observação que fizemos durante o decorrer do curso. Na tabela, nos chama a atenção o Aluno 19 com um aumento de mais de 60 pontos percentuais no seu desempenho.

Os gráficos de 05 a 07 abaixo mostram a relação da quantidade de acertos por questão, isto é, quantos acertos cada questão obteve por estudante.

Gráfico 05: Número de Acertos por Questão – 1

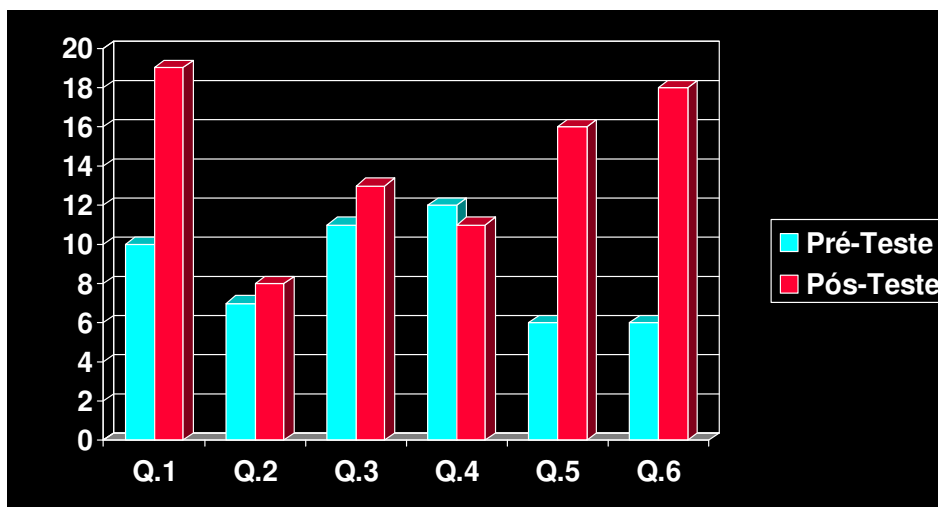


Gráfico 06: Número de Acertos por Questão – 2

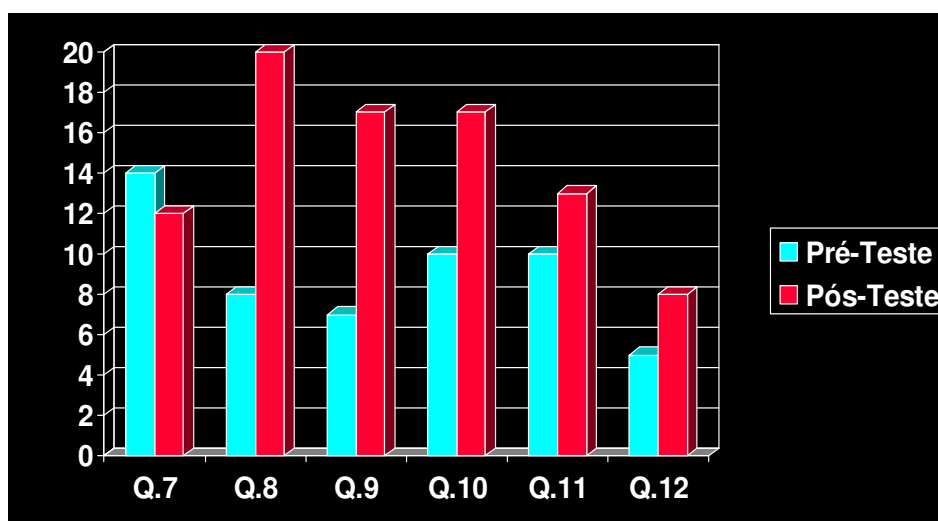
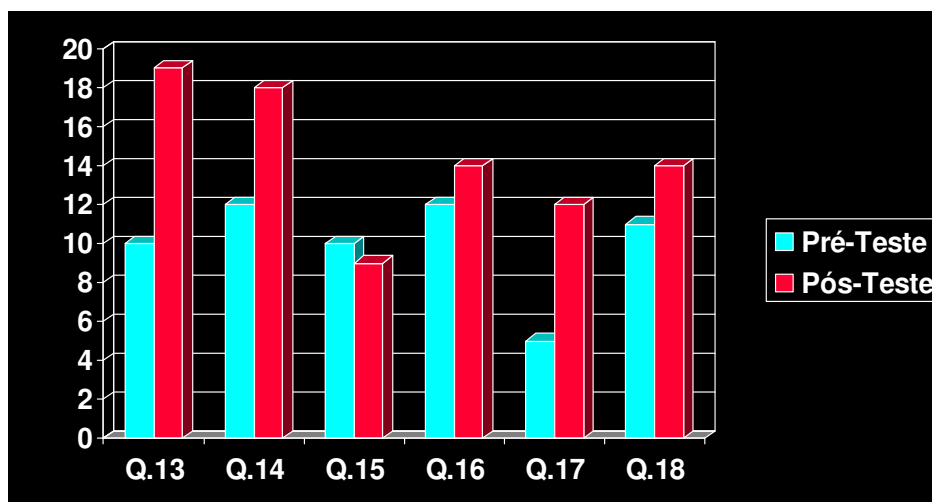


Gráfico 07: Número de Acertos por Questão – 3



Os gráficos acima mostram que três questões (4^a, 7^a e 15^a) obtiveram redução no número de acertos, do pré-teste para o pós-teste, talvez devido a não aprendizagem dos conteúdos pelos estudantes, falta de atenção ou pelo não entendimento da questão requerida. Outro dado que pode contribuir são as faltas e atrasos. Mas o resultado positivo é que dezessete questões tiveram um aumento no número de acertos o que poderá comprovar que houve aprendizagem significativa aos conceitos envolvidos.

Também, analisamos a assiduidade dos estudantes durante o decorrer do curso. A tabela 04 mostra a quantidade de faltas e o seu percentual, sabendo que foram 11 encontros no total do curso extracurricular.

Tabela 04: Controle de Faltas

Controle de Faltas		
Nomes	Faltas	Percentual de Presença
Aluno 1	1	90,9%
Aluno 2	2	81,8%
Aluno 3	1	90,9%
Aluno 4	2	81,8%
Aluno 5	0	100%
Aluno 6	0	100%
Aluno 7	1	90,9%
Aluno 8	0	100%
Aluno 9	Desistente	
Aluno 10	0	100%
Aluno 11	Desistente	
Aluno 12	1	90,9%
Aluno 13	0	100%
Aluno 14	0	100%
Aluno 15	1	90,9%
Aluno 16	1	90,9%
Aluno 17	Desistente	
Aluno 18	0	100%
Aluno 19	2	81,8%
Aluno 20	1	90,9%
Aluno 21	2	81,8%
Aluno 22	0	100%
Aluno 23	1	90,9%

Pela tabela acima podemos ver que a quantidade de faltas não foi significativa, observando-se no máximo duas faltas para alguns alunos. Entretanto, é digno notar que oito estudantes tiveram 100% de presença, num curso depois do horário das aulas regulares e que não resultavam numa avaliação formal para os estudantes. Este dado pode ser considerado como positivo, porque reflete o interesse dos alunos durante todo o transcorrer do curso.

No fim, incluímos quatro perguntas de ordem pessoal sobre o curso, suas aplicações, o papel do ministrante e a continuidade do trabalho de Tópicos de Física Moderno para alunos de Ensino Médio. Abaixo transcrevemos a pergunta formulada e algumas respostas escolhidas, aleatoriamente, de estudantes diferentes, para mostrar suas impressões sobre o curso, os conteúdos e a metodologia empregada.

1) *Qual a sua opinião sobre o curso ? Dê uma nota de 1 a 10 sobre o mesmo.*

Estudante 1: *“Foi um curso conduzido de modo agradável, nada massante. Se o objetivo era abrir as portas da Mecânica Quântica, ele foi alcançado. Por questão de tempo, poderia ter sido dada uma pequena aprofundada na matéria. Intelizmente faltou tempo. Nota do curso:9,0”.*

Estudante 2: *“Nota 10 ! O curso é muito bom ! É importante que todo o aluno seja conscientizado sobre esta “nova Física”. A idéia de fazer isto também é nota 10.”*

Estudante 3: *“O curso foi muito legal, mesmo tendo muita teoria. As simulações foram a melhor parte. Nota 10!”*

Estudante 4: *“O curso foi bem aproveitado. Aprendi várias coisas, mas algumas não entendi muito bem. Nota: 8,0”*

2) *Este curso lhe chamou atenção sobre a necessidade de pesquisadores na área para a produção de tecnologia a partir da Mecânica Quântica? Dê sua opinião.*

Estudante 1: *“Sim. Creio que muita coisa sobre a Mecânica Quântica é de grande utilidade para a ciência”*

Estudante 2: *“Sim, futuramente, ou melhor, este é o caminho para um maior desenvolvimento tecnológico.”*

Estudante 3: *“Sim. Através da Mecânica Quântica podemos fazer computadores de última geração, desenvolvendo uma nova tecnologia mundial.”*

Estudante 4: *“Não, pois foi algo mais teórico sem muitos exemplos práticos de aplicação”.*

3) *Como classificaria o desempenho do ministrante (professor) durante o curso ?*

Estudante 1: *“Muito bom, conseguiu explicar tudo com clareza, em um curto intervalo de tempo.”*

Estudante 2: *“Bom, explicou o que tinha de ser explicado, respondeu dúvidas e o melhor, explicou de um jeito legal que eu gosto.”*

Estudante 3: *“Ótimo, pois ele teve calma, paciência e dedicação ao longo do curso. Suas aulas sempre foram bem elaboradas, fazendo que nós entendêssemos.”*

Estudante 4: *“Mesmo nervoso ele nos conseguiu ensinar várias coisas sobre Mecânica Quântica”.*

4) *É possível trabalhar Tópicos de Física Moderna com alunos de Ensino Médio ? Opine.*

Estudante 1: *“Sim, pois se o que vi e aprendi no curso eu aprendesse na sala de aula eu acho que eu me interessaria muito mais.”*

Estudante 2: *“Sim mas com o objetivo principal de desmistificar esse assunto, tido como algo impossível de se compreender por pessoas normais.”*

Estudante 3: *“Sim, pois não é uma matéria tão difícil. Eu acho que os alunos já estão preparados para aprender.”*

Estudante 4: *“Moderadamente, creio que sim, mas não com aprofundamento, pois podem criar confusão na cabeça do aluno.”*

Levando em conta esses comentários e as avaliações realizadas e a troca de informação que tivemos com os estudantes, o curso preencheu as expectativas prévias ao começo das atividades. Notamos empenho e interesse da grande maioria dos estudantes, assiduidade e pontualidade e, acima de tudo, um despertar para novos desafios. Sem dúvida, todos os participantes enfrentaram as dificuldades do percurso e suplantaram-nas com dedicação e bastante esforço. O resultado foi entusiasmo para criarmos um material condizente com as necessidades prementes de um ensino secundário e adaptado à realidade que se vive nas escolas de ensino médio. No próximo capítulo abordaremos a elaboração do material baseado, em muito, no que presenciamos, nas experiências vívidas e compartilhadas com pessoas em formação e que, voluntariamente, dispuseram-se a participar de uma atividade inovadora e diferente, mas, principalmente, desafiadora no caráter cognitivo, abrangendo teorias de aprendizagem factíveis com a realidade escolar e, acima de tudo,

contemplando uma didática baseada no prazer em aprender, em desvendar novos conceitos e aceitá-los de maneira incondicional, sempre questionando os detalhes e pormenores, com muitas dificuldades, mas sempre com disposição em aprender.

VII. PRODUTO FINAL

VII.1. Descrição do Hipertexto

O curso extracurricular, as experiências vividas com os estudantes, as pesquisas sobre a confecção de material instrucional para o ensino médio e a disponibilidade do computador na realidade escolar tendo como ferramenta, a Internet, serviram de laboratório para a produção de um hipertexto sobre Tópicos de Física Moderna. Este hipertexto abrangendo alguns conceitos básicos de Mecânica Quântica deverá ser disponibilizado na rede mundial de computadores com objetivo de servir como fonte de consulta para estudantes secundaristas e como instrumento didático para professores de Física. O hipertexto embasou-se nas observações que realizamos durante a aplicação da programação do curso e no material que foi confeccionado e utilizado para a realização do mesmo.

O conteúdo do hipertexto (em anexo na 2ª contracapa) tem como tema central à procura da resposta a seguinte pergunta: “O que é a luz, ou seja, qual a sua natureza?” Assim, mostram-se aspectos históricos relevantes sobre as principais teorias a respeito da natureza da luz e as evidências experimentais arroladas para apoiar um ou outro modelo. Também, apresenta fenômenos ondulatórios interessantes que mexem com a curiosidade dos jovens: difração, interferência e polarização da luz, apresentados de maneira sintetizada, ilustrados com animações simples e de fácil interatividade. Além dos fenômenos ondulatórios, destacamos o Efeito Fotoelétrico e o Efeito Compton, efeitos estes que conduziram a um retorno do modelo corpuscular da luz. Aliás, o hipertexto dá ênfase ao experimento realizado por Heinrich Hertz (1857 – 1894), mais exatamente o que ocorreu em seu laboratório. Também, são destacadas a radiação do Corpo Negro e a Difração de Elétrons e, por fim, discutimos alguns princípios básicos de Mecânica Quântica, principalmente, com a simulação e interpretação do experimento da fenda dupla com ondas, com elétrons, com fótons e com elétrons individuais.

Uma das características do hipertexto gerado é a interatividade, isto é, clicando no botão “ligar” o estudante ou pessoa que acessa poderá visualizar fenômenos físicos ou a descrição de algum evento ou experimento. Todas as simulações apresentadas foram criadas utilizando-se, basicamente, três programas: Flash MX versão 6.0 (para criar as animações e o ambiente interativo); Dreamweaver MX versão 6.0 (para confeccionar o hipertexto) e o Fireworks MX (para a edição de imagens). Todos os programas utilizados pertencem à empresa Macromedia.

Vamos apresentar, através da figura 41 a página inicial de nosso hipertexto com os vínculos que o navegador pode acessar e as figuras 42 a 46 mostram algumas das animações que foram construídas e que são a base do hipertexto gerado, em outras palavras, através dessas animações organizamos os conteúdos explanados no hipertexto e sua funcionalidade.



Figura 41: Página Inicial do Hipertexto Gerado

VII.2 Animações

O hipertexto apresenta uma série de animações que foram confeccionadas com o objetivo de visualizar fenômenos, muitos deles, distantes para a maioria de estudantes e dos professores do ensino médio. Outro aspecto, é que o estudante pode clicar no botão “ligar” e, então, poderá visualizar o fenômeno escolhido. Vamos, nas figuras 42 a 46 já citadas, mostrar alguns destes simuladores. Note que são de fácil interatividade, não necessitando levantar dados ou anotar valores. O objetivo é mostrar, visualmente, o fenômeno físico envolvido sem a necessidade de equações matemáticas. Observe essas simulações escolhidas abaixo.

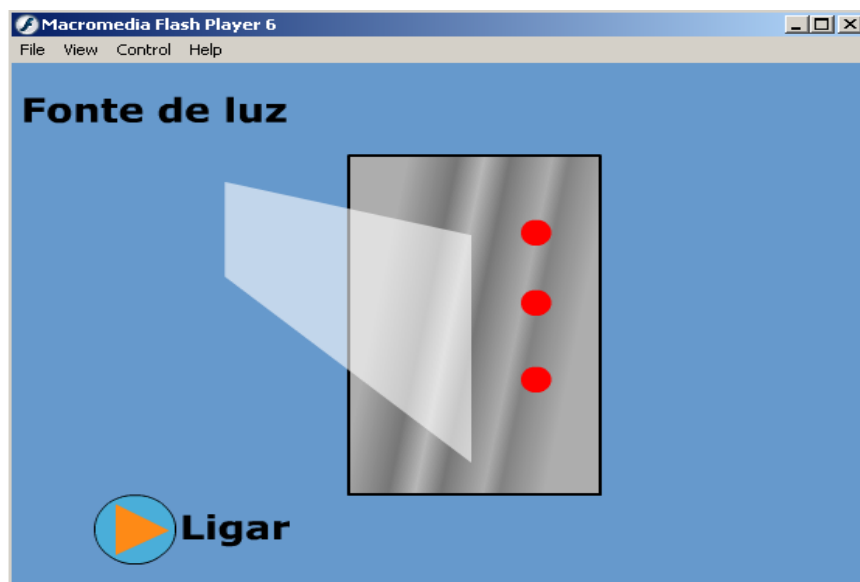


Figura 42: Simulação do Efeito Fotoelétrico

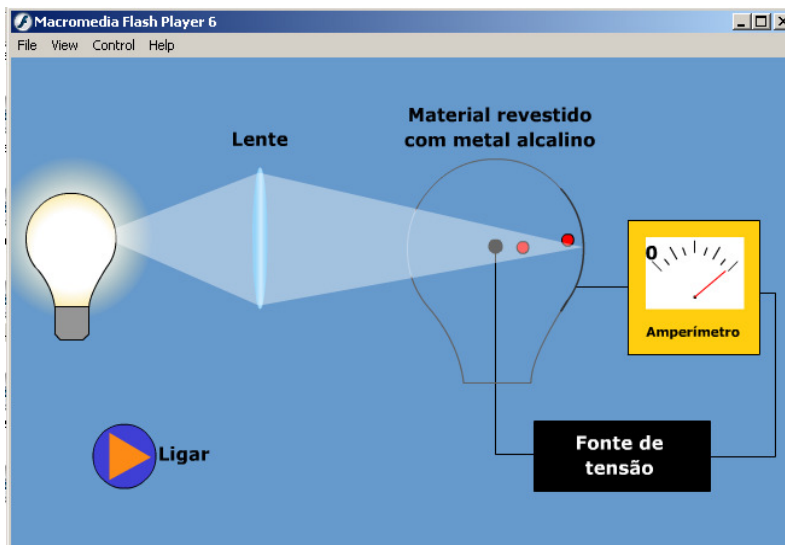


Figura 43: Simulação de uma Célula Fotoelétrica

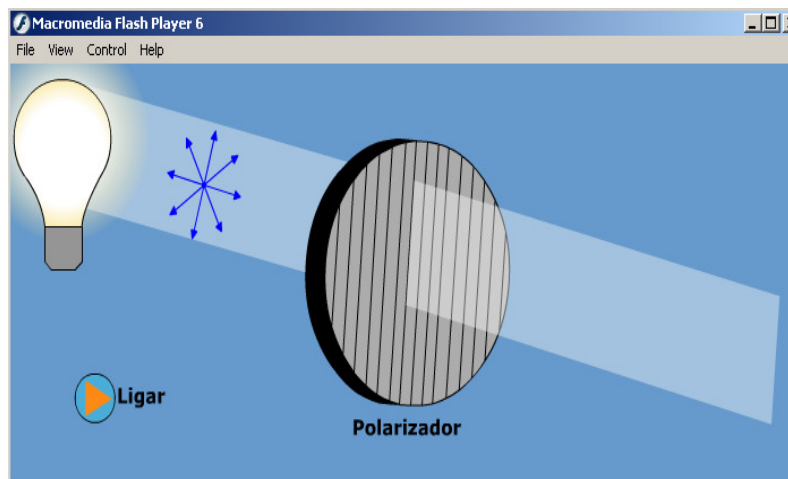


Figura 44: Simulação da Polarização da Luz

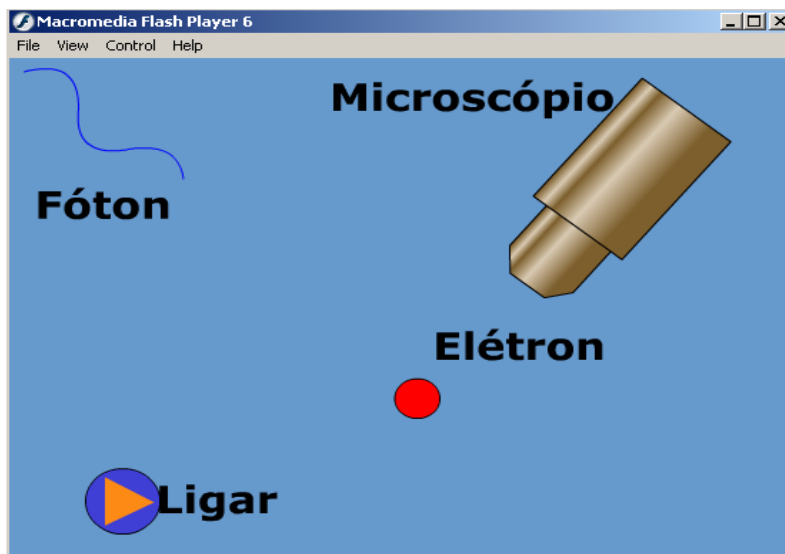


Figura 45: Simulação Problema da Medição na Mecânica Quântica

Estas animações simulam alguns fenômenos enfatizando o caráter ondulatório da luz ou dando ênfase ao caráter corpuscular da luz, ajudando o navegador a entender, de maneira simples, direta e visual, o que acontece na situação escolhida. Há também simulações que envolvem a experiência da fenda dupla, procurando envolver, quem acessa essas simulações, a descobrir a questão levantada, conforme a figura 46 mostra.

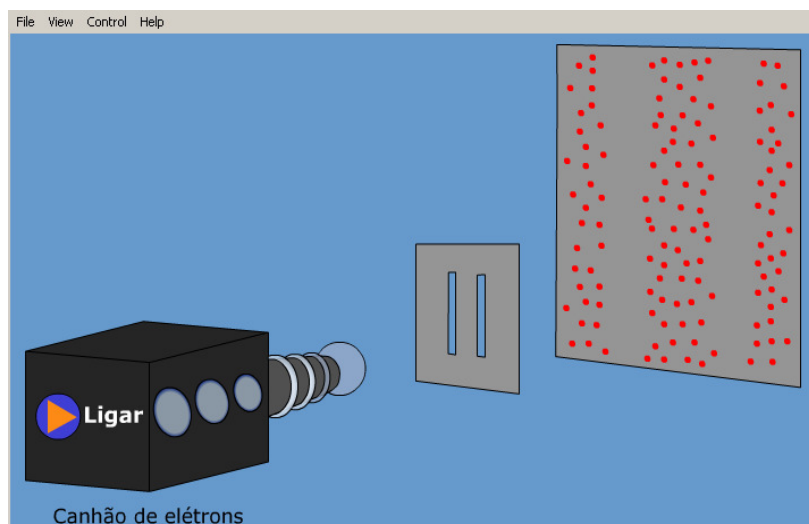


Figura 46: Simulação da Fenda Dupla com Elétrons

Portanto, o hipertexto elaborado, a partir das experiências obtidas na realização do curso extracurricular com estudantes de ensino médio, é mais uma ferramenta disponível servindo como fonte de pesquisa para alunos e professores de ensino médio. O material gerado não se propõe a ser a solução para as deficiências apresentadas no que diz respeito a inserir tópicos de Física Moderna no ensino médio. Além disso, com o tempo, poderá e deverá sofrer acréscimos e outras contribuições. Não é um produto definitivo, pronto e acabado, mas o início da construção de um projeto que será incrementado com o tempo. No entanto, este projeto é uma tentativa de instrumentalizar, na língua portuguesa, o ensino médio com material de pesquisa em Tópicos de Física Moderna, em especial, introduzir conceitos básicos de Mecânica Quântica.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inserir Física Moderna no ensino médio requer além do conhecimento pertinente a área, dedicação, força de vontade e critério na escolha dos conteúdos e na forma de apresentá-los. Em muito, isto se deve às dificuldades vivenciadas, diariamente, nas escolas básicas deste país. A formação deficitária dos estudantes, a falta de preparo e incentivo dos professores e um sistema educacional que não investe em tecnologia, materiais e na formação contínua de seus profissionais constituem fatores que, provavelmente, dificultam a inserção de conhecimentos mais específicos e complexos, como no caso da Mecânica Quântica. Muitos esforços existem, é verdade, para sanar as dificuldades citadas, bem como inovar criativamente para melhorar a qualidade das aulas. Aliás, conforme apontado por Ostermann e Cavalcante (1999), já citados neste trabalho, são escassos os trabalhos, em língua portuguesa, para instrumentalizar as aulas de Física Moderna e dinamizar, de maneira qualitativa, a disciplina de Física ministrada em nossas escolas. Então, conforme relatado neste trabalho, são discretos, mas bem qualificados, os esforços de propiciar um ensino de qualidade com materiais potencialmente significativos.

Este projeto em particular, desenvolvido e aplicado, contempla a produção de material de apoio envolvendo assuntos de Física Moderna tendo como porta de entrada a discussão do dualismo onda-partícula. Estes assuntos foram tratados, em um curso extracurricular com estudantes do 2º ano do ensino médio da Escola Técnica Santo Inácio, localizada na periferia da cidade de Porto Alegre, e os conteúdos e experiências vividas serviram como laboratório para a produção de um hipertexto, disponibilizado para alunos e professores do ensino médio. No curso, dividido em onze encontros, foram tratados assuntos como Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Fenômenos Ondulatórios, Radiação do Corpo Negro, Difração de Elétrons e alguns conceitos básicos de Mecânica Quântica. Estes conteúdos foram trabalhados com o objetivo de discutir sobre a natureza da luz, ou seja, o dualismo onda-partícula. As aulas foram elaboradas de forma qualitativa, dando ênfase à descrição visual dos fenômenos apresentados, sem a preocupação de um formalismo matemático apurado ou aulas teóricas sem a participação dos estudantes.

O trabalho, conforme mostrado foi embasado na Teoria de Aprendizagem Significante de Rogers e na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel. A primeira se evidencia na compatibilidade do material com a realidade dos estudantes, promovendo uma aprendizagem relevante as suas necessidades e sendo conduzida de maneira, não apenas no campo cognitivo, mas no campo afetivo, trocando experiências e conhecimento para a auto-realização. A segunda, chamada de Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, propõe a relação entre os conhecimentos prévios já existentes com os novos conhecimentos adquiridos, ou seja, como a nova informação relaciona-se com aspectos especificamente relevantes da estrutura de conhecimento do indivíduo ou estudante (Moreira, 1999). No curso, este paralelo foi realizado ao retomarmos a ótica ondulatória, onde a luz foi definida como onda, mostrando os fenômenos que defendiam tal idéia. Estes conteúdos serviram de âncora para conceitos mais complexos no que tange a Mecânica

Quântica, principalmente, no conceito de dualismo onda-partícula, onde foi necessário explanar histórica e cientificamente as teorias sobre a natureza da luz.

Os seguintes objetivos foram atingidos, tanto na pesquisa, execução do curso e produção do material didático:

- Pesquisa bibliográfica sobre inserção da Física Moderna no ensino médio e uso da informática, especialmente a internet, na utilização de programas que inserem Física Moderna no ensino médio;
- Trabalhar com teorias de aprendizagem compatíveis com a realidade de nossos estudantes;
- Elaboração de um curso de caráter extracurricular que contempla conteúdos de Física Moderna;
- Uso do dualismo onda-partícula como porta de entrada para a inserção dos conteúdos de Mecânica Quântica;
- Uso do curso extracurricular como laboratório para a confecção do que chamamos de produto final, isto é, instrumento a ser utilizado como material de apoio ao ensino médio, para inserir Tópicos de Física Moderna;
- Uso da internet como ferramenta para a produção do material e para a exposição desse material a um público mais amplo.

Portanto, o hipertexto gerado pode contribuir como alternativa para a inserção de Tópicos de Física Moderna no Ensino Médio. O material criado não é definitivo e deve passar por mudanças e, sem dúvida, contribuições sugeridas serão aceitas para a melhor qualidade do mesmo. Temos noção que o produto final deste trabalho não é a solução mágica para a inserção de Física Moderna no ensino médio. Antes, encaramos como uma boa contribuição para ser utilizada em aulas de física em nossas escolas. Acreditamos que a inserção de conteúdos de Física Moderna no ensino médio se dará, de modo apropriado, depois de muitas contribuições como essa do presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M.; FINN E. J. **Física: fundamentos cuanticos y estadisticos**. São Paulo: Fondo Educativo Interamericano, 1976. v. 3.
- AMALDI, U. **Imagens da Física**. São Paulo: Scipione, 1992.
- ANDALORO, G.; DONZELLI, V.; SPERANDEO-MINEO, R. M. Modelling in Physics Teaching: the role of computer simulation. **International Journal of Science Education**, London, v. 13, n. 3, p. 243-254, 1991.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BEISER, A. **Conceitos de Física Moderna**. São Paulo: Polígono, 1969.
- BISCUOLA, G. J. et al. **Tópicos de Física**. Saraiva. São Paulo: Saraiva, 2001. v. 3.
- BONJORNO, V.; RAMOS, C. **Física: história e cotidiano**. São Paulo: FTD, 2004.
- BRASIL. Lei n. 9394, de 20 de setembro de 1996. **Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. Brasília: MEC, 1996.
- 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.
- BRAZ JUNIOR, D. **Física Moderna para o Ensino Médio**. Campinas: Editora Companhia da Escola, 2002.
- CABRAL, F.; LAGO, A. **Física**. São Paulo: Harbra, 2002. v 3.
- CAMARGO, A. J. **A Introdução de Física Moderna no 2º Grau: obstáculos e possibilidades**. 1996. Dissertação (Mestrado em Educação) - Curso de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.
- CARRON, W.; GUIMARÃES, O. **As Faces da Física**. São Paulo: Moderna, 1999.
- CAVALCANTE, M. A.; PIFFER, A.; NAKAMURA, P. O Uso da Internet na Compreensão de Física Moderna para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p.108-112, mar. 2001.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma Oficina de Física Moderna que Visa sua Inserção no Ensino Médio. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 298-316, dez. 2001.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma aula sobre Efeito Fotoelétrico no desenvolvimento de competências e habilidades. **Física na Escola**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 24-29, maio 2002.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Uma caixinha para Estudo de Espectros. **Física na Escola**, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 40-42, out. 2002.

CAVALCANTE, M. A.; JARDIM, V.; BARROS, A. A. J. Inserção de Física Moderna no Ensino Médio: difração de um feixe de laser. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 2, p. 154-169, ago.1999.

CAVALCANTE, M. A. O Ensino de uma NOVA FÍSICA e o Exercício da Cidadania. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 550-551, dez. 1999.

CAVALCANTE, M. A.; BENEDITO, A. Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio: uma nova técnica para a análise quantitativa de espectros. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 437-446, set. 1999.

CHAVES, A. **Física**: curso básico para estudantes de ciências e engenharias. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso, 2001. v. 3.

CÓRDOVA, R. S. et al. Simulación Computacional de Experiencias de Física Moderna. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p.147-151, ago.1992.

CUDMANI, L. C. Panorama de las Principales Lineas y Tendencias en Investigación Educativa en Física en la Última Década. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 4, p. 392-397, dez, 1998.

CUPPARI, A.; RINAUDO, G.; ROBUTTI, O.; VIOLINO P. Gradual Introduction of some aspects of quantum mechanics in a high school curriculum. **Physics Education**, Bristol, v. 32, n. 5, p. 302-308, Sept. 1997.

DORNELES 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. 87-93, abr.1998.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

FEYNMAN, R. P. **Física em Seis Lições**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

FISCHLER, H.; LICHTFELDT, M. Modern Physics and Students Conceptions. **International Journal of Science Education**, London, v. 14, n. 2, p. 181-190, Apr./June 1992.

FREIRE JUNIOR, O.; CARVALHO NETO, R. A. **O Universo dos Quanta**: uma breve história da física moderna. São Paulo: FTD, 1997.

GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2000. v. 3.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C. **Física para o Ensino Médio**. São Paulo: Scipione, 2002.

GOUVEIA, S. L.; LUIZ, A. M. **Física**: ótica e física moderna. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.

GRECA, I. M. R. **Construindo Significados em Mecânica Quântica**: resultados de uma proposta didática aplicada a estudantes de física geral. 2000. 284f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

GRECA, I. M. R.; HERSCOVITZ, V. E. **Introdução a Mecânica Quântica**: notas de curso. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2003. (Textos de apoio ao professor de física, n. 13).

GRECA, I. M. R.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma Proposta para o Ensino de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 444-457, dez. 2001.

GRIBBIN, J. **Fique por dentro da Física Moderna**. 2. ed. São Paulo: Cosac & Naify, 2002.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA (GREF). São Paulo: Editora da USP, 1993. v. 2.

GUIMARÃES, P. S. **Radiação de Corpo Negro**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v.21, n.2, p.291-297, jun. 1999.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991. v. 4.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 9. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOROWICZ, R. J. **Luz, Cores...Ação**: a ótica e suas aplicações tecnológicas. São Paulo: Moderna, 1999.

IRESON, G. The quantum understanding of pre-university physics students. **Physics Education**, Bristol, v. 35, n. 1, p. 15-21, Jan. 2000.

KAWAMURA, M. R. D.; SILVA, J. A. A Natureza da Luz: uma atividade com textos de divulgação científica em sala de aula. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 3, p. 317-340, ago. 2001.

KAWAMURA, M. R. D.; HOSOUME, Y. A Contribuição da Física para um Novo Ensino Médio. **Física na Escola**. São Paulo, v. 4, n. 2, p. 22-27, out. 2003.

LANDAU, L.; LIFSHITZ, E. **Mecânica Quântica**: teoria não relativista. Moscou: Mir, 1985.

LAWRENCE, I. Quantum physics in school. **Physics Education**, Bristol, v. 31, n. 5, p. 278-286, Sept. 1996.

LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A. **Curso de Física**. 5.ed. São Paulo: Scipione, 2000. v. 2.

McKELVEY, J. P.; GROUCH, H. **Física**. São Paulo: Harbra, 1978.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e Limitações das Simulações Computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 77-86, jun. 2002.

MENDES JUNIOR, O.; DOMINGUES, M. O. Introdução a Programas Físico-Matemáticos Livres. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 148-156, jun. 2003.

MICHELINI, M. et al. Proposal for quantum physics in secondary school. **Physics Education**, Bristol, v. 35, n. 6, p. 406-410, Nov. 2000.

MONTENEGRO, R. L.; PESSOA JUNIOR, O. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 107-126, maio/ago. 2002.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária. 1999.

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. **Teorias Construtivistas**. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 1999. (Textos de apoio ao professor de física, n. 10).

MOREIRA, M. A.; OSTERMANN, F. 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./abr. 2000.

MOREIRA, M. A.; GRECA, I. M. R. 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, jan./abr. 2001.

MÜLLER, R.; WIESNER, H. Teaching quantum mechanics on an introductory level. **American Journal of Physics**, Melville, v. 70, n. 3, p. 200-209, Mar. 2002.

NOGUEIRA, J. S. et al. Utilização do Computador como Instrumento de Ensino: uma perspectiva de aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 517-522, dez. 2000.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1998. v. 4.

OLSEN, R. V. Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Normay. **International Journal of Science Education**, London, v. 24, n. 6, p. 565-574, 2002.

OREAR, J. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1971.

OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea em Escolas de Nível médio e na Formação de Professores de Física**. 2000. 433f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. H. Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Elaboração de Material Didático, em forma de Pôster, sobre partículas elementares e Interações Fundamentais. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.16, n. 3, p.267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; FERREIRA, L.; CAVALCANTI, C. J. H. Tópicos de Física Contemporânea no Ensino Médio: um texto para professores sobre supercondutividade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 20, n. 3, p. 270-288, set. 1998.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. Interpretações da Mecânica Quântica em um Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo. v. 27, n. 2, p. 193-203, jun. 2005.

OSTERMANN, F. ; REZENDE, F. Formação de Professores de Física no Ambiente Virtual InterAge: um exemplo voltado para a introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio. **Física na Escola**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 15-19, out. 2004.

PENA, F. L. A. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de Física Moderna e Contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.28, n.1, p.1-2, mar. 2006.

PENTEADO, P. C. et al. **Física: ciência e tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2001.

PESSOA JR, O. Interferometria, Interpretação e Intuição: uma introdução conceitual à física quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v.19, n.1, p. 27-48, mar. 1997.

PHYSICAL SCIENCE STUDY COMMITTEE. **Física**. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1967. V. 4.

PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a mecânica quântica para o ensino médio? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.16, n.1, p. 7-34, abr. 1999.

POHL, H. A. **Introdução a Mecânica Quântica**. São Paulo: Edgar Blücher; Brasília: INL, 1973.

RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. de T. **Os Fundamentos da Física**. 8. ed. rev. aum. São Paulo: Moderna, 2003. v. 3.

RICCI, T. F.; OSTERMANN, F. **Uma Introdução Conceitual à Mecânica Quântica para Professores do Ensino Médio**. Porto Alegre: Instituto de Física - UFRGS, 2003. (Textos de apoio ao professor de física, n. 14).

ROCHA, J. F. et al. **Origens e Evolução das Idéias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.

ROGERS, C. R. **Liberdade para Aprender**. Belo Horizonte: Interlivros, 1971.

RONAN, C. A . **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987. v. 1 Das origens à Grécia.

RONAN, C. A . **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987. v. 2 Oriente, Roma e Idade Média.

RONAN, C. A . **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987. v. 3 Da renascença à revolução científica.

RONAN, C. A . **História Ilustrada da Ciência da Universidade de Cambridge**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1987. v. 4 A ciência nos séculos XIX e XX.

ROSA, P. R. S. Uso de Computadores no Ensino de Física. Parte I: Potencialidades e Uso Real. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 17, n. 2, p.182-188, jun. 1995.

SEARS, F. **Física**. 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1985. v. 4.

SILVA, C. J. **O Efeito Fotoelétrico**: contribuições ao ensino de física contemporânea no segundo grau. 1993. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Instituto de Física e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

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.

TAVOLARO, C. R. C.; CAVALCANTE, M. A. **Física Moderna Experimental**. Barueri: Manole, 2003.

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

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TRINDADE, J.; FIOLEAIS, C. Física no Computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 259-272, set. 2003.

VALADARES, E. C.; MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no 2^o grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.15, n. 2, p.121-135, ago.1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A

**TEXTO: ABORDAGEM HISTÓRICA – DISCUSSÃO SOBRE A VERDADEIRA IDENTIDADE
DA LUZ**

Abordagem Histórica – Discussão sobre a Verdadeira Identidade da Luz

Todos nós ficamos admirados com o avanço do estudo da ótica¹, principalmente, no século XX. Hoje, temos: televisão, computador, câmaras fotográficas, telescópios, microscópios, visores noturnos, lasers e muito mais que se desenvolveu a partir da curiosidade humana acerca da verdadeira identidade da luz e da formação de imagens em instrumentos óticos como, por exemplo, o próprio olho humano. O leitor pode se perguntar, com muita propriedade: O que constitui a luz? Do que ela é feita? Quais as teorias que explicam sua verdadeira natureza?

Deveras, com estudos meticulosos, ricos em detalhes e com criatividade experimental foi possível desenvolver modelos para mostrar o que, de fato, é a luz. Duas destas teorias se destacaram e, com o desenrolar da história, travaram uma verdadeira batalha científica, até hoje estudada nos bancos escolares. Estas teorias ficaram conhecidas como: *teoria corpuscular da luz* e *teoria ondulatória da luz*. A primeira, em síntese, acreditava que a luz era constituída de pequenos “corpúsculos” que se propagavam em um meio material e excitavam nossas sensações da visão. Já a segunda, em franca oposição à primeira, estabelecia um modelo de “onda”, isto é, a luz era um fenômeno ondulatório assim como ondas sonoras se propagam no ar ou ondas de perturbação num lago ou numa corda. Estava estabelecido um conflito, empolgante e cientificamente desafiador, a saber: A luz é uma *onda* ou é uma *partícula*?

A resposta à pergunta suscitada acima, nos conduz ao desenvolvimento de uma das teorias mais intrigantes já desenvolvidas pela física: a Mecânica Quântica. Com esta, presenciamos e, vamos ainda presenciar, inúmeros avanços tecnológicos que proporcionarão, em muito, mais conforto e modernidade a vida que levamos atualmente.

Portanto, mergulhar nos detalhes sobre a acirrada discussão acerca da identidade da luz é acompanhar como a ciência evoluiu através dos tempos, assim como estar ciente de técnicas empregadas para o descobrimento de leis fundamentais para a compreensão do nosso mundo. Entender o que é a luz é entender uma parte das novas concepções de Física Moderna e Contemporânea.

Primeiras Idéias Sobre a Natureza da Luz

A curiosidade humana sobre a natureza da luz é antiga e abrange várias nações e personalidades. Destacamos, em primeiro lugar, a visão que os gregos tinham acerca da luz. Por exemplo, Empédocles (490 – 430 AEC) acreditava que corpos luminosos emitiam algo que interagia com os raios luminosos emitidos pelos nossos olhos. Tal pensamento sobre a luz estava evidentemente errado, porém era um avanço em relação à escola pitagórica de que a visão consistia de algo emitido pelo olho humano. Platão (428 – 348 AEC) sustentava tal pensamento pitagórico e acreditava nestas “partículas” emitidas pelo globo ocular, criando um modelo de propagação retilínea da luz. Aristóteles (384 – 322 AEC), já acreditava que a visão e, por conseqüência, a luz era um

¹ Também pode ser usado o termo Óptica.

fluido imaterial que propagava-se de um objeto observado até nosso olho produzindo a sensação da visão.

Porém, é digno de nota que não somente os gregos se importavam com os fenômenos óticos e a natureza da luz. Os chineses já haviam criado a câmara escura, estudado os espelhos planos e esféricos e classificado as imagens em reais e virtuais. No entanto, destacamos o trabalho do árabe (egípcio) Al-Haythan (965 – 1039) que afirmava que a luz provinha dos objetos e não do olho, conforme acreditava os gregos, e propagava-se em todas as direções em forma de esfera². Podemos salientar, também, o trabalho de Robert Grosseteste (1168 – 1253) que analisou a propagação retilínea, a reflexão e a refração e apontou estudos sobre a formação de arco-íris.

Entretanto, foi só no período da Renascença que se realizaram trabalhos meticolosos a respeito da natureza da luz e, neste período, foram estabelecidos os alicerces e o confronto das duas teorias mencionadas. Estudos foram intensificados e uma gama de experimentos foram produzidos, a fim de se procurar um significado mais adequado para a luz. Acompanhe a visão de cada teoria e os passos experimentais implementados, e veja como elas se firmaram à medida que o conhecimento aumentava, desvendando-nos assim os mistérios da verdadeira identidade da luz.

Teoria Corpuscular

Em 1704, Isaac Newton (1642 – 1727) publicou uma de suas mais interessantes obras científicas: “Opticks”, que entre outras abordagens defendia o caráter corpuscular da luz. Segundo esta teoria, a luz consiste num fluxo de partículas muito pequenas (microscópicas) que são emitidas por fontes luminosas. Esta teoria se encaixa, perfeitamente, na idéia de mundo estabelecida por Newton, ou seja, um modelo determinista de corpos materiais em movimento, onde é possível determinar várias grandezas simultaneamente. Ele baseou-se neste comportamento, puramente, mecânico para explicar o modelo corpuscular da luz. Por exemplo, a reflexão da luz nada mais é do que a colisão da “partícula de luz” com a superfície (choque elástico); e a refração se devia a atração gravitacional entre as partículas de luz e as moléculas do meio na qual ela se aproxima. Tais colocações davam uma explicação convincente sobre a natureza da luz e era possível explicar, como foi visto, a reflexão e a refração utilizando a teoria corpuscular.

Um aspecto de grande relevância na teoria corpuscular de Newton era o fato de considerar que a luz propagava-se mais rápido quanto mais denso o meio, o que era também defendido pelo físico francês René Descartes (1596 – 1650).

A teoria corpuscular parecia consistente e satisfazia os fenômenos até então conhecidos sobre a luz. Além do que, fora sustentado por um nome que era respeitado em todo o meio científico de sua época e de gerações futuras, sim, Isaac Newton detinha prestígio que, talvez, nenhum outro físico jamais obteve. Portanto, a teoria corpuscular sustentava-se no nome de seu criador e explicava, de maneira satisfatória, a reflexão e refração da luz. Porém, surge em paralelo uma teoria rival que abalaria as idéias de Newton sobre a natureza da luz: a teoria ondulatória. Vamos conhecê-la e ver como ela se opôs a teoria corpuscular.

² Lembra-nos do Princípio de Huygens.

Teoria Ondulatória

A teoria ondulatória consiste em afirmar que a luz é uma perturbação que se propaga num determinado meio. Essa idéia fora defendida pelo cientista holandês Christiaan Huygens (1629 – 1695). Ele também acreditava que a luz era uma onda análoga, por exemplo, ao som e que necessitava de um meio para se propagar. Portanto, introduz a idéia do éter luminífero como sendo o meio no qual a luz se propaga com uma velocidade extremamente grande, porém finita. Tal argumento é apoiado na idéia de éter introduzido por Aristóteles, na Antigüidade, e difundido por René Descartes para explicar como a luz se propaga em vários lugares e em diversas direções.

A teoria ondulatória também foi defendida por Robert Hooke (1635 – 1703), antigo desafeto de Newton, onde propunha que a luz é uma onda assim como ondas de perturbação se propagam num lago, ou ondas sonoras propagando-se no ar. Tal concepção acerca da natureza da luz foi assimilada e defendida por Thomas Young (1773 – 1829), médico inglês estudioso dos fenômenos relacionados com a visão humana. Ele acreditava que a luz era um distúrbio de onda propagando-se num meio material, o éter luminífero³. Isto implicava em dizer que a luz era uma onda longitudinal, sendo que tal proposição seria mais tarde corrigida pelo próprio Young, pois não explicava o comportamento anômalo dos feixes de luz polarizada.

No entanto, no ano de 1800, Thomas Young realizou uma experiência que entrou para a história da física e instigou ainda mais a discussão acerca da natureza da luz. Essa experiência ficou conhecida como *Experiência da Fenda Dupla* que abrangia os fenômenos da difração e interferência da luz.

O modelo corpuscular não conseguia explicar, satisfatoriamente, a difração e a interferência utilizando um comportamento mecânico para a luz. Estava consolidada a teoria ondulatória e posta em “xeque” a teoria corpuscular. No entanto, devido ao seu grande prestígio, o modelo de partículas de Newton sobrevivia apesar das evidências, cada vez mais contundentes, a favor da teoria da perturbação de ondas luminosas em um meio material (éter luminífero).

No entanto, o golpe fatal sobre a teoria corpuscular veio no ano de 1850, quando Armand H. L. Fizeau (1819 – 1896) e Jean Bernard L. Foucault (1819- 1868), através de experiências distintas, mediram a velocidade da luz no ar e na água. Nesta ocasião, concluiu-se que a luz propagava-se mais rapidamente quanto menos denso era o meio, idéia essa totalmente contrária a concepção de Newton acerca da natureza da luz. Outro abalo foi quando o próprio Thomas Young mostrou que a luz é uma onda transversal e não longitudinal como se acreditava, conseguindo, assim, com o modelo ondulatório, explicar a polarização da luz.

Com todas as evidências favoráveis, a teoria ondulatória ganhou muitos simpatizantes e se consolidou a cada experiência realizada. Parecia o fim da teoria corpuscular, sustentada apenas pelo nome de seu principal defensor: Isaac Newton. Portanto, chegava o fim de uma disputa de mais de 150 anos, dando ampla vitória a teoria ondulatória da luz. Tudo indicava ter-se concluído os estudos

³ Meio luminoso que preenchia todo espaço vazio e penetrava em todas as partes dos corpos materiais.

sobre a verdadeira identidade da luz e, de uma vez por todas, a teoria corpuscular havia sido sepultada. Tudo indicava exatamente isto, mas não foi bem assim!

O Ressurgimento da Teoria Corpuscular

Em meados do século XIX, a teoria ondulatória explicava, satisfatoriamente, todos os fenômenos conhecidos relacionados ao comportamento da luz. Porém, faltava uma teoria consistente, comparada a mecânica newtoniana, para explicar o comportamento das “ondas de luz”. Daí surge no cenário científico o físico James Clerk Maxwell (1831 – 1879), que a partir do conjunto das quatro equações matemáticas que explicam os fenômenos elétricos e magnéticos, demonstra que campos elétricos e magnéticos variáveis se propagam, no vácuo, como uma onda, escrevendo a equação correspondente a esta onda e determinando a velocidade desta onda a partir de constantes elétrica e magnética. No entanto, a teoria proposta por Maxwell foi além do esperado, pois esta unificou o eletromagnetismo com os fenômenos relacionados à luz e, por conseqüência, atribuiu a própria luz um caráter ondulatório, onde afirmava que ela era uma onda de natureza eletromagnética e não mecânica, conforme se acreditava até então.

O modelo ondulatório estabelecido por Maxwell explicava, de forma coerente, os fenômenos relacionados às ondas, assim como a mecânica de Newton explicava, de forma convincente, os movimentos dos corpos. Faltava, como último desafio, provar experimentalmente as teorias de Maxwell para consolidar, de uma vez por todas a teoria ondulatória da luz. Esta foi realizada, mas com ela apareceu uma grande surpresa!

Em 1887, o físico alemão Heinrich Hertz (1857 – 1894) demonstrou, em seu laboratório, que podia gerar e detectar, experimentalmente, ondas eletromagnéticas pondo, enfim, uma pedra sobre a identidade da luz. Porém, neste mesmo experimento ele notou que a incidência de radiação ultravioleta sobre os eletrodos da antena receptora induzia sobre esta uma descarga elétrica. Sem querer, Hertz acabará de descobrir um dos efeitos de maior impacto para as mudanças que se avizinhavam em toda a física, efeito este conhecido hoje como Efeito Fotoelétrico.

Wilhelm Hallwachs (1859 – 1922), discípulo de Hertz, estuda este novo efeito e demonstra que a luz ultravioleta gera cargas negativas. Este efeito passa a ser conhecido como Efeito Hallwachs ou Efeito Fotoelétrico. Philip Lenard (1862 – 1947), também discípulo de Hertz, estuda detalhadamente este efeito em experimentos em tubos de raios catódicos. Os resultados são surpreendentes, pois Lenard ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1905 por estes trabalhos, tendo demonstrado que o comportamento do Efeito Fotoelétrico era incompatível com a teoria ondulatória da luz.

Porém, ainda em 1905, o também físico alemão Albert Einstein (1879 – 1955) explica o efeito fotoelétrico, apresentando uma teoria na qual a luz possui um comportamento corpuscular quando interage com a matéria. O modelo teórico de Einstein para o efeito fotoelétrico foi comprovado por Robert Millikan (1868 – 1953) após uma série de experimentos meticulosos. Pelo seu trabalho Einstein recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1921 e Millikan, em 1923.

Entretanto, quanta ou partículas de luz não foi bem aceita e houve muita resistência para tê-la como fato científico, pois faltava uma comprovação experimental, algo que revelasse este comportamento da luz como partícula com energia e momento bem definidos. A resposta veio em 1922, quando Arthur Compton (1892 – 1962) ao bombardear um alvo de grafite com raios-X, analisou o espalhamento das quantas dessa radiação pelos elétrons quase livres da nuvem eletrônica. Compton demonstrou que este espalhamento da radiação por elétrons podia ser interpretado como colisão de partículas relativísticas. Agora, estava definitivamente consolidada a idéia de fóton ou quantum de luz, não dando mais margem para dúvidas. Certamente, a teoria corpuscular estava consolidada e fazia parte do cenário da física. Seu ressurgimento se deve graças ao empenho e espírito científico de muitos homens e também a aceitação de fatos que contrariavam o senso comum.

Atualmente, identificamos a luz como tendo um caráter dual, isto é, uma personalidade dupla de onda-partícula. Apenas com a introdução da mecânica quântica é possível estabelecer uma identidade para a luz. Então, o estudo da física moderna é importante, pois nos responde perguntas vitais sobre a natureza e suas leis. O leitor está convidado a mergulhar neste mundo fascinante e cheio de surpresas.

Bibliografia

◆ Para a elaboração deste texto foram utilizados os seguintes livros que servem como leitura complementar que enriquecerá a pesquisa no assunto:

- 1) ALVARENGA, Beatriz e MÁXIMO, Antônio. Curso de Física, volume 2. Ed. Scipione, 2000.
- 2) CABRAL, Fernando e LAGO, Alexandre. Física 3. Volume 3. Ed. Harbra. São Paulo, 2002.
- 3) GASPAR, Alberto. Física. Volume 3. Editora Ática. 1ª edição. São Paulo, 2000.
- 4) GRIBBIN, Jonh. Fique por dentro da Física Moderna; tradutor: Thomás A . S. Haddad. 2ª edição. São Paulo: Cosac & Naify Edições. 2002.
- 5) GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA(GREF). São Paulo: Editora da USP, v.2 Física térmica e Óptica, 1993.
- 6) HOROWICZ, Ricardo J. Luz, Cores...Ação: A Ótica e suas Aplicações Tecnológicas. 1ª edição. São Paulo: Editora Moderna, 1999.
- 7) NUSSENZVEIG. H. Moysés. Curso de Física Básica. Volume 4. Editora Edgard Blücher Ltda. 1ª edição. São Paulo, 1998.
- 8) ROCHA, José Fernando et al. Origens e Evolução das Idéias da Física. Salvador, EDUFBA, 2002.
- 9) RONAN, Colin A . História Ilustrada da Ciência: Das Origens à Grécia. Volume I. Jorge Zahar Editor. Rio de Janeiro, 1987.
- 10) RONAN, Colin A . História Ilustrada da Ciência: Oriente, Roma e Idade Média. Volume II. Jorge Zahar Editor. Rio de Janeiro, 1987.

11) RONAN, Colin A . História Ilustrada da Ciência: Da Renascença à Revolução Científica. Volume III. Jorge Zahar Editor. Rio de Janeiro, 1987.

12) RONAN, Colin A . História Ilustrada da Ciência: A Ciência nos Séculos XIX e XX. Volume IV. Jorge Zahar Editor. Rio de Janeiro, 1987.

◆ Sites para consulta:

1) www.plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/Index.html

2) www.ecientificocultural.com/ECC2/artigos/polar00.htm

3) www.educar.sc.usp.br/optica/luz.htm

4) www.process.com.br/estraca/9/ondas_eletromagneticas.html

5) www.plato.if.usp.br/1-2003/fmt0405d/apostila/quantum7/node2.html

6) www.feiradeciencias.com.br/sala09/09_18.asp

APÊNDICE B
SOLICITAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DO CURSO

Porto Alegre, 21 de junho de 2004

Ilmo. Sra.

Prof^a. Rose Zanini

Diretora da Escola Técnica Santo Inácio

Prezada Professora,

Venho, por meio desta, solicitar a realização, nesta instituição de ensino, do curso “Introdução à Física Moderna através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula”, que terá caráter extracurricular e tem previsão de um bimestre (dois meses) que será ministrado aos alunos interessados do 2^o ano do ensino médio dos cursos de Eletrônica e Informática desta instituição.

Em anexo apresento, para sua análise, um cronograma das atividades a serem desenvolvidas bem como, uma lista de material e recursos necessários para a realização do curso.

Desde já, coloco-me a inteira disposição para esclarecimento de qualquer dúvida que possa haver sobre o curso e agradeço o tempo gasto para a apreciação do mesmo.

Atenciosamente,

Luciano Alvarenga

Mestrando

Prof. Silvio L. S. Cunha

Orientador

Horário: *Quintas-feiras das 18:00 às 19:20*

Carga Horária: *onze (11) encontros de 80 minutos cada*

Início: *24 de junho de 2004*

Término: *9 de setembro de 2004*

Salas a serem Utilizadas: *Sala de Projeção (Uso do Data-Show), Laboratório de Informática (alguns encontros)*

Material: *Textos elaborados pelo professor, internet, alguns equipamentos de laboratório, Retro-projetor e avaliações durante o processo.*

CRONOGRAMA:

A princípio, serão programadas 11 (onze) aulas de 80min cada para o desenvolvimento do projeto. Elas serão divididas em:

- 1) Pré-Teste e apresentação do curso (1 encontro);
- 2) Abordagem Histórica – Discussão sobre a verdadeira Identidade da Luz (1 encontro);
- 3) Ótica Ondulatória – Difração, Interferência e Polarização. Fenômenos que levaram a Interpretação Ondulatória da Luz (2 encontros);
- 4) Renascimento da Teoria Corpuscular – Efeito Fotoelétrico, Efeito Compton, Radiação do Corpo Negro. (2 encontros);
- 5) Implicações do Caráter Dual da Luz – Partículas tem Comportamento Ondulatório ? (1 encontro);
- 6) Introdução a Mecânica Quântica – Discussão sobre a Experiência da Fenda Dupla e Polarização da Luz (3 encontros);
- 7) Avaliação do processo (1 encontro).

APÊNDICE C
LISTA DE CHAMADA

Curso: Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Horário: 18 00 às 19:20

Data: __/__/____

Programação: _____

Nomes	Assinatura
(1) Aluno 1	
(2) Aluno 2	
(3) Aluno 3	
4) Aluno 4	
5) Aluno 5	
6) Aluno 6	
7) Aluno 7	
8) Aluno 8	
9) Aluno 9	
10) Aluno 10	
11) Aluno 11	
12) Aluno 12	
13) Aluno 13	
14) Aluno 14	
15) Aluno 15	
16) Aluno 16	
17) Aluno 17	
18) Aluno 18	
19) Aluno 19	
20) Aluno 20	
21) Aluno 21	
22) Aluno 22	
23) Aluno 23	

APÊNDICE D

AVALIAÇÕES: PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

PRÉ-TESTE DE CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Prezado Aluno,

O objetivo deste pré-teste⁸ é verificar se você possui algum conhecimento sobre Mecânica Quântica e os fenômenos que levaram a sua interpretação. Devemos reforçar que é um teste de conhecimento e não envolve qualquer forma de avaliação ou julgamento do aluno.

Nome:

Turma: **Série:**.....

Idade:

- Você já leu algum artigo ou mesmo um livro que abordasse sobre Mecânica Quântica ?

() sim () não Qual ? (nome do livro ou artigo):

- Você acha interessante o estudo da Física Moderna, abrangendo temas como a Mecânica Quântica, para a sua formação ?

() sim () não Em caso afirmativo, por quê ?

.....
.....

- Como você conhece a Mecânica Quântica ?

() através do seu professor

() livros ou revistas

() filmes

() outro Qual ?

- Você pretende realizar o curso para:

() ocupar o tempo.

() aumentar seus conhecimentos para o vestibular.

() conhecer a Mecânica Quântica e suas aplicações.

() outro. Qual ?

- Você acha importante o estudo de Tópicos de Física Moderna no Ensino Médio ?

() sim () não

- Você considera a Mecânica Quântica como algo necessário de ser estudado ? Cite algumas aplicações tecnológicas da Mecânica Quântica?

.....
.....

- Você sabe a diferença entre a Física Moderna e a Mecânica Quântica ? Cite exemplos de Física Moderna e de Mecânica Quântica.

.....
.....

⁸ Teste baseado na Tese de Doutorado da professora Ileana Greca.

Uma das portas de entrada para o mundo quântico é a discussão sobre a natureza da luz. Através desta discussão podemos introduzir alguns conceitos básicos de Física Moderna, incluindo conceitos sobre a Mecânica Quântica. Portanto, para cada palavra abaixo escreva cinco palavras ou conceitos que você *julga* estar relacionados com a palavra fornecida. Como este teste visa apenas observar conceitos pré-existentes, não há palavras ou conceitos errados, não havendo necessidade de justificá-los.

- A) VISÃO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- B) LUZ: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- C) FÓTONS: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- D) ONDA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- E) PARTÍCULA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- F) QUANTIDADE DE MOVIMENTO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- G) ENERGIA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- H) ELÉTRONS: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- I) DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- J) EFEITO FOTOELÉTRICO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- K) CÉLULA FOTOELÉTRICA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- L) COMPRIMENTO DE ONDA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- M) FREQUÊNCIA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- N) INTERFERÊNCIA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- O) DIFRAÇÃO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- P) PRINCÍPIO DA INCERTEZA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- Q) PROBABILIDADE: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- R) MEDIÇÃO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____

Para as questões de múltipla escolha abaixo, marque apenas uma alternativa na qual você julga ser a correta.

1. O Efeito Fotoelétrico trouxe a tona o caráter corpuscular da luz, bem como uma série de aplicações tecnológicas usadas no nosso dia-a-dia. Este efeito consiste em:

- Elétrons são arrancados de certas superfícies metálicas quando há incidência de luz, de determinada frequência, sobre elas.
- Elétrons são absorvidos do ar e inseridos numa placa metálica quando há incidência de luz sobre elas.
- Prótons são arrancados pela luz incidente numa placa metálica.
- Fótons são espalhados ao colidirem com elétrons do material no qual se incide luz de determinada frequência.

2. Incide-se luz com determinada frequência (cor) sobre uma superfície metálica arrancando elétrons através do efeito fotoelétrico. Se dobrarmos a intensidade luminosa incidente sobre esta superfície, o que alteraria no efeito fotoelétrico observado ?

- Os elétrons seriam arrancados com o dobro da velocidade.
- Os elétrons seriam arrancados com o dobro da energia cinética.
- O número de elétrons arrancados dobraria.
- Não mudaria nada, pois o efeito fotoelétrico não depende da intensidade luminosa.

3. Qual é a condição básica para que haja a emissão de fotoelétrons por um determinado metal ?

- a) A luz incidente tenha uma frequência menor que um determinado valor limite
- b) A luz incidente tenha um comprimento de onda superior a um determinado valor limite
- c) A luz incidente tenha uma frequência maior que um determinado valor limite
- d) A luz incidente tenha intensidade superior a um determinado valor limite

4. Incide-se luz num material fotoelétrico e não se observa emissão de elétrons. Para que haja a emissão de elétrons do material devemos aumentar:

- a) a intensidade da luz
- b) a frequência da luz
- c) o comprimento de onda da luz
- d) a amplitude da luz

5. No ano de 1900, o físico alemão Max Planck deu a conhecer sua interpretação sobre a natureza da radiação emitida por um corpo aquecido, interpretação esta que causou uma verdadeira revolução na Física. Cinco anos mais tarde, outro físico alemão, Albert Einstein, utiliza a mesma idéia de Planck para interpretar o Efeito Fotoelétrico. Tal idéia, hoje amplamente conhecida, baseia-se:

- a) Conservação da Energia
- b) Quantização da Energia
- c) Conversão da Energia
- d) Propagação da Energia

6. Além do Efeito Fotoelétrico, qual efeito alistado abaixo está relacionado com o comportamento corpuscular da luz:

- a) Efeito Compton
- b) Efeito Joule
- c) Efeito Zeeman
- d) Efeito Fotovoltaico

7. Considere as duas colunas abaixo, colocando no espaço entre parênteses o número do enunciado da primeira coluna que mais relação tem com o da segunda coluna.

- 1. Comprovação experimental do caráter corpuscular da luz () Difração de Elétrons
- 2. Quantização da Energia dos Osciladores () Efeito Compton
- 3. Caráter ondulatório das partículas () Lei de Planck

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

- a) 1 - 2 - 3
- b) 3 - 2 - 1
- c) 2 - 3 - 1
- d) 3 - 1 - 2

8. Qual é a natureza da luz, segundo a Mecânica Quântica?

- a) natureza corpuscular
- b) natureza ondulatória
- c) natureza “dual”, ou seja, apresenta ambos os comportamentos, ondulatório e corpuscular
- d) natureza “dual”, ou seja, não é onda nem partícula

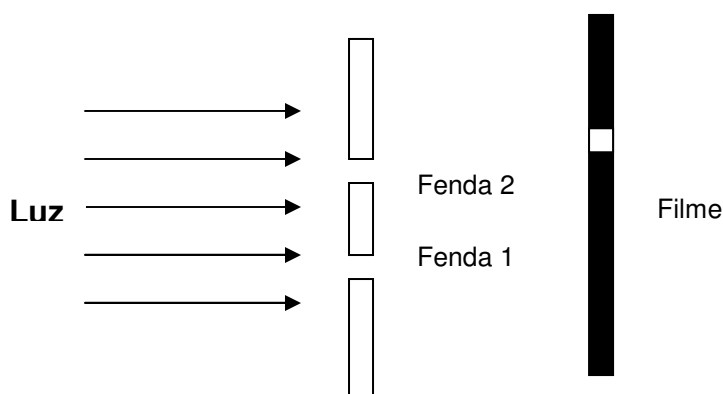
9. Segundo a hipótese levantada por Louis de Broglie o elétron apresenta comportamento de:

- a) partícula
- b) onda
- c) “dual”, pois não é onda e nem partícula
- d) “dual”, pois apresenta ambos os comportamentos, ondulatório e corpuscular

10. Os fenômenos físicos difração e interferência podem ocorrer com:

- a) ondas
- b) partículas
- c) ondas e partículas
- d) não ocorrem nem com ondas e nem com partículas

11. A figura abaixo mostra uma fenda dupla com aberturas de mesma dimensão e, logo atrás, um filme sensível a luz. Incidindo-se luz (fótons) de determinada frequência e, passando pelas fendas, o que se observará, depois de certo tempo, registrado no filme ?



- a) um padrão de interferência com regiões claras e escuras
- b) um borrão claro no filme
- c) pontos escuros e claros sem padrão de interferência
- d) não se observa nada no filme

12. Referente a questão anterior, o que seria observado no filme sensível a luz se reduzirmos a intensidade da luz incidente a um único fóton que passa por uma das fendas?

- a) um padrão de interferência
- b) um ponto marcado no filme
- c) o filme não é sensibilizado por um único fóton
- d) não é possível prever o que vai acontecer

13. Ainda referente a questão 11, se um único fóton passa pelo anteparo com as fendas, sensibilizando o filme no ponto A indicado, qual a probabilidade do fóton ter passado pela Fenda 1 ?

- a) 100%
- b) 50%
- c) nenhuma probabilidade
- d) passará por ambas as fendas

14. Caso realizássemos a Experiência da Fenda Dupla com um feixe de elétrons, o que seria observado no filme, sendo este sensível ao impacto de elétrons ?

- a) seriam observados duas manchas sobre o filme, pois os elétrons se propagam em linha reta
- b) não observaríamos nenhum padrão de interferência
- c) seria observado um padrão de interferência com zonas claras (sensibilizadas pelos elétrons) e zonas escuras
- d) não se observa nada no filme

15. Se um único elétron passa por uma das fendas do experimento anterior, este elétron sofre interferência ?

- a) não, pois passa apenas por uma das fendas
- b) não, pois não observamos padrão de interferência no filme
- c) sim, pois o elétron se divide em dois ao passar pelas fendas
- d) sim, pois a onda associada ao elétron sofre interferência

16. É possível determinar, simultaneamente, por qual das fendas o elétron passará e em que região ele colidirá no anteparo a direita ?

- a) sim, pois dependerá do instrumento de medida
- b) sim, pois na física podemos medir tudo
- c) não, pois viola o princípio da incerteza
- d) não, pois não sabemos medir

17. Num experimento de fenda dupla com elétrons, poderíamos determinar por qual das fendas os elétrons passam colocando uma fonte de luz próximo às fendas e detectando a luz espalhada pelos elétrons que passam por elas. Neste caso, observaríamos no anteparo de detecção dos elétrons:

- a) o mesmo padrão de interferência, pois a interação com a luz, não afeta a trajetória dos elétrons
- b) nenhum padrão de interferência, pois a interação da luz altera a trajetória dos elétrons
- c) o mesmo padrão de interferência, pois os fótons e os elétrons não interagem
- d) não observaríamos nada, pois os elétrons colidindo com fótons não chegam no anteparo

18. O Princípio da Incerteza é um dos alicerces da Mecânica Quântica. Segundo este Princípio:

- a) nada é incerto na natureza
- b) é impossível medir simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula
- c) é possível medir qualquer grandeza física relacionada a uma partícula
- d) é impossível fazer qualquer medida de uma partícula

PÓS-TESTE DE CONHECIMENTOS BÁSICOS SOBRE MECÂNICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

Prezado Aluno,

O objetivo deste pós-teste⁹ é verificar se houve aprendizagem significativa sobre alguns aspectos de Mecânica Quântica e os fenômenos que levaram a sua interpretação. Devemos reforçar que é um teste de conhecimento e não envolve qualquer forma de avaliação ou julgamento do aluno.

Nome:

Turma: **Série:**.....

Idade:

- Qual a sua opinião sobre o curso ? Dê uma nota de 1 a 10 sobre o mesmo.

.....
.....
.....

- Este curso lhe chamou atenção sobre a necessidade de pesquisadores na área para a produção de tecnologia a partir da Mecânica Quântica? Dê sua opinião.

.....
.....
.....

- Como classificaria o desempenho do ministrante (professor) durante o curso ?

.....
.....
.....

- É possível trabalhar Tópicos de Física Moderna com alunos de Ensino Médio ? Opine.

.....
.....
.....

Uma das portas de entrada para o mundo quântico é a discussão sobre a natureza da luz. Através desta discussão podemos introduzir alguns conceitos básicos de Física Moderna, incluindo conceitos sobre a Mecânica Quântica. Portanto, para cada palavra abaixo escreva cinco palavras ou conceitos

⁹ Teste baseado na Tese de Doutorado da professora Ileana Greca.

que você *julga* estar relacionados com a palavra fornecida. Como este teste visa apenas observar conceitos pré-existentes, não há palavras ou conceitos errados, não havendo necessidade de justificá-los.

- A) VISÃO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- B) LUZ: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- C) FÓTONS: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- D) ONDA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- E) PARTÍCULA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- F) QUANTIDADE DE MOVIMENTO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- G) ENERGIA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- H) ELÉTRONS: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- I) DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- J) EFEITO FOTOELÉTRICO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- K) CÉLULA FOTOELÉTRICA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- L) COMPRIMENTO DE ONDA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- M) FREQUÊNCIA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- N) INTERFERÊNCIA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- O) DIFRAÇÃO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- P) PRINCÍPIO DA INCERTEZA: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- Q) PROBABILIDADE: _____ , _____ , _____ , _____ , _____
- R) MEDIÇÃO: _____ , _____ , _____ , _____ , _____

Para as questões de múltipla escolha abaixo, marque apenas uma alternativa na qual você julga ser a correta.

1. O Efeito Fotoelétrico trouxe a tona o caráter corpuscular da luz, bem como uma série de aplicações tecnológicas usadas no nosso dia-a-dia. Este efeito consiste em:

- a) Elétrons são arrancados de certas superfícies metálicas quando há incidência de luz, de determinada frequência, sobre elas.
- b) Elétrons são absorvidos do ar e inseridos numa placa metálica quando há incidência de luz sobre elas.
- c) Prótons são arrancados pela luz incidente numa placa metálica.
- d) Fótons são espalhados ao colidirem com elétrons do material no qual se incide luz de determinada frequência

2. Incide-se luz com determinada frequência (cor) sobre uma superfície metálica arrancando elétrons através do efeito fotoelétrico. Se dobrarmos a intensidade luminosa incidente sobre esta superfície, o que alteraria no efeito fotoelétrico observado ?

- a) Os elétrons seriam arrancados com o dobro da velocidade.
- b) Os elétrons seriam arrancados com o dobro da energia cinética.
- c) O número de elétrons arrancados dobraria.
- d) Não mudaria nada, pois o efeito fotoelétrico não depende da intensidade luminosa.

3. Qual é a condição básica para que haja a emissão de fotoelétrons por um determinado metal ?

- a) A luz incidente tenha uma frequência menor que um determinado valor limite
- b) A luz incidente tenha um comprimento de onda superior a um determinado valor limite
- c) A luz incidente tenha uma frequência maior que um determinado valor limite
- d) A luz incidente tenha intensidade superior a um determinado valor limite

4. Incide-se luz num material fotoelétrico e não se observa emissão de elétrons. Para que haja a emissão de elétrons do material devemos aumentar:

- a) a intensidade da luz
- b) a frequência da luz
- c) o comprimento de onda da luz
- d) a amplitude da luz

5. No ano de 1900, o físico alemão Max Planck deu a conhecer sua interpretação sobre a natureza da radiação emitida por um corpo aquecido, interpretação esta que causou uma verdadeira revolução na Física. Cinco anos mais tarde, outro físico alemão, Albert Einstein, utiliza a mesma idéia de Planck para interpretar o Efeito Fotoelétrico. Tal idéia, hoje amplamente conhecida, baseia-se:

- a) Conservação da Energia
- b) Quantização da Energia
- c) Conversão da Energia
- d) Propagação da Energia

6. Além do Efeito Fotoelétrico, qual efeito alistado abaixo está relacionado com o comportamento corpuscular da luz:

- a) Efeito Compton
- b) Efeito Joule
- c) Efeito Zeeman
- d) Efeito Fotovoltaico

7. Considere as duas colunas abaixo, colocando no espaço entre parênteses o número do enunciado da primeira coluna que mais relação tem com o da segunda coluna.

- 1. Comprovação experimental do caráter corpuscular da luz () Difração de Elétrons
- 2. Quantização da Energia dos Osciladores () Efeito Compton
- 3. Caráter ondulatório das partículas () Lei de Planck

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

- a. 1 - 2 - 3
- b. 3 - 2 - 1
- c. 2 - 3 - 1
- d. 3 - 1 - 2

8. Qual é a natureza da luz, segundo a Mecânica Quântica?

- a. natureza corpuscular
- b. natureza ondulatória
- c. natureza “dual”, ou seja, apresenta ambos os comportamentos, ondulatório e corpuscular
- d. natureza “dual”, ou seja, não é onda nem partícula

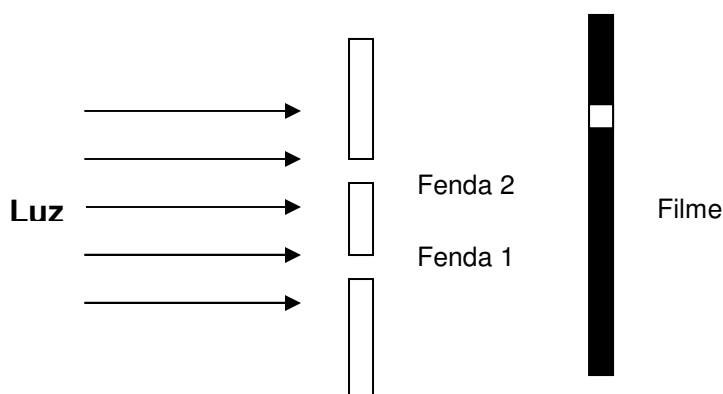
9. Segundo a hipótese levantada por Louis de Broglie o elétron apresenta comportamento de:

- a. partícula
- b. onda
- c. “dual”, pois não é onda e nem partícula
- d. “dual”, pois apresenta ambos os comportamentos, ondulatório e corpuscular

10. Os fenômenos físicos difração e interferência podem ocorrer com:

- a. Ondas
- b. Partículas
- c. ondas e partículas
- d. não ocorrem nem com ondas e nem com partículas

11. A figura abaixo mostra uma fenda dupla com aberturas de mesma dimensão e, logo atrás, um filme sensível a luz. Incidindo-se luz (fótons) de determinada frequência e, passando pelas fendas, o que se observará, depois de certo tempo, registrado no filme ?



- a) um padrão de interferência com regiões claras e escuras
- b) um borrão claro no filme
- c) pontos escuros e claros sem padrão de interferência
- d) não se observa nada no filme

12. Referente a questão anterior, o que seria observado no filme sensível a luz se reduzirmos a intensidade da luz incidente a um único fóton que passa por uma das fendas ?

- a) um padrão de interferência
- b) um ponto marcado no filme
- c) o filme não é sensibilizado por um único fóton
- d) não é possível prever o que vai acontecer

13. Ainda referente a questão 11, se um único fóton passa pelo anteparo com as fendas, sensibilizando o filme no ponto A indicado, qual a probabilidade do fóton ter passado pela Fenda 1 ?

- a) 100%
- b) 50%
- c) nenhuma probabilidade
- d) passará por ambas as fendas

14. Caso realizássemos a Experiência da Fenda Dupla com um feixe de elétrons, o que seria observado no filme, sendo este sensível ao impacto de elétrons ?

- a. seriam observados duas manchas sobre o filme, pois os elétrons se propagam em linha reta
- b. não observaríamos nenhum padrão de interferência
- c. seria observado um padrão de interferência com zonas claras (sensibilizadas pelos elétrons) e zonas escuras
- d. não se observa nada no filme

15. Se um único elétron passa por uma das fendas do experimento anterior, este elétron sofre interferência ?

- a) não, pois passa apenas por uma das fendas
- b) não, pois não observamos padrão de interferência no filme
- c) sim, pois o elétron se divide em dois ao passar pelas fendas
- d) sim, pois a onda associada ao elétron sofre interferência

16. É possível determinar, simultaneamente, por qual das fendas o elétron passará e em que região ele colidirá no anteparo a direita ?

- a) sim, pois dependerá do instrumento de medida
- b) sim, pois na física podemos medir tudo
- c) não, pois viola o princípio da incerteza
- d) não, pois não sabemos medir

17. Num experimento de fenda dupla com elétrons, poderíamos determinar por qual das fendas os elétrons passam colocando uma fonte de luz próximo às fendas e detectando a luz espalhada pelos elétrons que passam por elas. Neste caso, observaríamos no anteparo de detecção dos elétrons:

- a. o mesmo padrão de interferência, pois a interação com a luz, não afeta a trajetória dos elétrons
- b. nenhum padrão de interferência, pois a interação da luz altera a trajetória dos elétrons
- c. o mesmo padrão de interferência, pois os fótons e os elétrons não interagem
- d. não observaríamos nada, pois os elétrons colidindo com fótons não chegam no anteparo

18. O Princípio da Incerteza é um dos alicerces da Mecânica Quântica. Segundo este Princípio:

- a. nada é incerto na natureza
- b. é impossível medir simultaneamente a posição e a velocidade de uma partícula
- c. é possível medir qualquer grandeza física relacionada a uma partícula
- d. é impossível fazer qualquer medida de uma partícula

APÊNDICE E
QUESTIONÁRIOS

QUESTIONÁRIO 1

Nome:

Turma:

1. Por que a difração das ondas sonoras é mais evidente na experiência do dia-a-dia, que a das ondas luminosas ?

2. Numa difração em fenda única, qual é o efeito causado pelo aumento (a) do comprimento de onda e (b) da largura da fenda?

3. Como é a figura de difração numa fenda única quando $\lambda > a$?

4. Na luz do Sol que passa por uma fresta de janela, não se observa difração. Por quê ?

5. Isaac Newton demonstrou, mesmo sem considerar o modelo ondulatório, que a luz do Sol, que vemos branca, é o resultado da composição adequada das diferentes cores. Considerando hoje o caráter ondulatório da luz, podemos assegurar que ondas de luz correspondentes às diferentes cores terão, no vácuo:

- a) o mesmo comprimento de onda
- b) a mesma frequência
- c) o mesmo período
- d) a mesma amplitude
- e) a mesma velocidade

6. Considere as seguintes afirmativas:

I – O fenômeno da interferência reforça o caráter ondulatório da luz.

II – A polarização só ocorre com ondas transversais.

III – A difração ocorre apenas quando o comprimento de onda da luz é da ordem de grandeza da largura da fenda.

Pode-se afirmar que:

- a) somente a I está correta
- b) I e II estão corretas
- c) I e III estão corretas

- d) Nenhuma está correta
- e) Todas estão corretas

7. Em uma experiência de Young, $\lambda = 546 \text{ nm}$, $d = 0,10 \text{ mm}$ e $D = 20 \text{ cm}$. Qual é a distância, na tela de observação, entre o quinto Máximo de interferência a partir do Máximo central?

8. Um estudante repetiu a experiência de Young usando luz monocromática. Verificou que a separação entre os orifícios F_1 e F_2 era de $d = 0,02\text{cm}$ e que a distância destes orifícios ao anteparo era $L = 130\text{cm}$. Medindo a separação entre duas franjas escuras ele encontrou $\Delta x = 0,35\text{cm}$. Qual o comprimento de onda da luz usada na experiência ?

9. Em uma sala existem duas lâmpadas, ambas projetando luz sobre uma mesma parede. Observaremos franjas de interferência nesta parede ? Por quê ?

Por que Young conseguiu obter franjas de interferência em sua experiência ?

10. O que exatamente Thomas Young demonstrou em seu famoso experimento com a luz ?

11. A polarização é uma característica de todos os tipos de ondas ?

12. Por que a luz atravessará um par de polaróides com os eixos alinhados, mas não consegue atravessá-lo quando os eixos estiverem perpendiculares entre si ?

QUESTIONÁRIO 2

Nome:

Turma:

1. Sendo a constante de Planck $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J.s, determine a energia transportada por um fóton de luz cuja frequência vale $5 \cdot 10^{14}$ Hz.
2. No que consiste o Efeito Fotoelétrico ? Como deve ser encarada a luz de acordo com este fenômeno ?
3. De acordo com a Física Clássica a energia de uma onda luminosa depende da intensidade da onda. Essa informação, de acordo com a Física Quântica, não está correta, sendo que a energia está relacionada com outra grandeza. Que grandeza é essa ?
4. Determine a energia cinética máxima dos fotoelétrons se a função trabalho do material é de $6,24 \cdot 10^{-19}$ J e a frequência da radiação é de $3 \cdot 10^{15}$ Hz.
5. O que é o Efeito Compton e o que comprova ?
6. A natureza da luz é uma questão que preocupa os físicos há muito tempo. No decorrer da história, houve predomínio ora da teoria corpuscular, ora da teoria ondulatória. Descreva, com suas palavras, a concepção atual da natureza da luz.
7. A função trabalho do zinco é $6,88 \cdot 10^{-19}$ J. Um fotoelétron do zinco é emitido com energia cinética máxima de $6,72 \cdot 10^{-19}$ J. Qual é a frequência do fóton incidente que emitiu aquele fotoelétron ?
8. Uma bola de futebol, de massa 0,4kg, atinge a velocidade de 30m/s. Determine para essa velocidade o comprimento de onda de de Broglie.
9. Um elétron de massa $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, desloca-se com velocidade de 10^6 m/s. Determine, para esse elétron, o comprimento de onda de de Broglie.
10. Qual é a região mais quente da chama de uma vela, a vermelha ou a azul ? Justifique.

APÊNDICE F
CERTIFICADO DE CONCLUSÃO



Escola Técnica Santo Inácio
AV. PE. LEOPOLDO BRENTANO, 700 - BAIRRO FARRAPOS - PORTO ALEGRE - RS
FEDERAÇÃO DOS CÍRCULOS OPERÁRIOS DO RIO GRANDE DO SUL



Conferimos este

CERTIFICADO

a *Tulano de Tal*

Por ter participado com frequência e aproveitamento do curso extra-curricular de

**Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através
da Discussão do Dualismo Onda-Partícula.**

Porto Alegre, 16 de Setembro de 2004.

Rosilene Mendes Zanini
Diretora

Luciano Lewandoski Abvarenga
Professor

Duração: 15 horas/aula
Período: 24 de Junho até 16 de Setembro de 2004.

Conteúdo Programático

- 1) Visão Histórica: Primeiras Teorias sobre a natureza da Luz
- 2) Teoria Ondulatória: Difração, Interferência e Polarização da Luz
- 3) Teoria Corpuscular: Efeito Fotoelétrico e Efeito Compton
- 4) Radiação do Corpo Negro
- 5) Teoria Ondulatória da Matéria: Difração de Elétrons
- 6) Alguns Princípios da Mecânica Quântica:
 - Dualidade Onda-Partícula
 - Princípio da Incerteza
 - Problema da Medição
 - Colapso da Função de Onda
- 7) Experiência da Fenda Dupla: objetos clássicos, ondas e objetos quânticos (fótons e elétrons)
- 8) Interferômetro de Mach-Zehnder

Obs: Os conteúdos foram desenvolvidos enfatizando-se seu caráter conceitual.

ANEXOS

ANEXO A

Hipertexto: “Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula”

ANEXO B

Autorização para uso de Simuladores

Licensing

All PhET software is Copyright (c) The University of Colorado, under the GNU General Public License (GPL). Anyone can have access to the source code and make changes in it. According to the GPL, the source code for any changes someone makes to the software must, in turn, be made publicly available by the party that makes the changes.

You may freely distribute copies of this software, but you may not change the copyright or the license. If you modify this software and distribute it you are required to license your copyrighted modifications under an GPL-compatible license and to make the entire source code for your derivation available to anybody you distribute the software to.

For more information on the GPL, please see <http://www.gnu.org/licenses/>. The license itself can be found in its entirety at <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>.

This program is distributed in the hope that it will be useful, but **WITHOUT ANY WARRANTY**; without even the implied warranty of **MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE**. See the GNU General Public License for more details.

For additional licensing options, please contact PhET at phethelp@colorado.edu.

Source Code

The source code for all PhET simulations is hosted at [SourceForge](#). The latest version can always be found there. To access the source code, you will need a Subversion client such as [TortoiseSVN](#) (Windows-only) or [SmartSVN](#) (all platforms).