
UMA OFICINA DE FÍSICA MODERNA QUE VISE A SUA INSERÇÃO NO ENSINO MÉDIO*

Marisa Almeida Cavalcante
Cristiane R. C. Tavolaro
Departamento de Física – PUC/SP
Escola do Futuro USP/SP
São Paulo – SP

Resumo

Este trabalho mostra como é possível discutir os fundamentos da Física Moderna no Ensino Médio, a partir do estudo do comportamento dual. Para isso, uma pesquisa intensa foi realizada e resultou na construção de materiais didáticos de baixo custo, voltado à realidade brasileira e que vêm sendo apresentados aos professores, através da realização de Oficinas. Esses equipamentos permitem, através de uma metodologia adequada, a execução de uma série de experiências que busca atender uma melhor compreensão dos fenômenos da interferência e difração, bem como o comportamento corpuscular da radiação, fornecendo a base para o entendimento adequado do princípio da dualidade e conseqüentemente, um amplo panorama da física deste século.

Palavras-Chave: *Ensino de Física Moderna, comportamento dual da luz, efeito fotoelétrico, espectrofotômetro caseiro.*

I. Introdução

A questão da introdução de Física Moderna e Contemporânea no ensino médio tem sido abordada por muitos pesquisadores na área de ensino, visto que o seu entendimento aparece como uma necessidade para compreender os fenômenos ligados a situações vividas pelos estudantes, sejam de origem natural ou tecnológica. Vários trabalhos, cursos e oficinas foram apresentados na XII SNEF – 27 a 31 de janeiro de 1997 – Belo Horizonte¹⁻¹³, enfocando essa problemática, desde o seu estudo e planejamento didático, até a proposta de experimentos que permitam dar ao professor subsídios necessários à inserção. Cabe-nos ainda destacar a lei de Diretrizes e Bases, assinada em 20 de dezembro de 1996, no 185º aniversário da Independência e 105º da República, na sessão IV do Ensino Médio, no Art. 36, 1º parágrafo:

* Publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 3, dez. 2001.

Os conteúdos, as metodologias e as formas de avaliação serão organizados de tal forma que ao final do ensino médio o educando demonstre:

I - domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna;

II - conhecimento das formas contemporâneas de linguagem;

III - domínio dos conhecimentos de Filosofia e de Sociologia necessários ao exercício da cidadania.

Diante da relevância desse tema, passamos a desenvolver um projeto, que visa atender essas necessidades, dando algumas opções para a inserção de Física Moderna no Ensino Médio. Dentre os diferentes tópicos que podem ser abordados, focalizamos nossa atenção no estudo do *Comportamento Dual*. Neste trabalho, a Física Contemporânea aparece como complementação à Física Clássica, trabalhando no limite entre a ótica geométrica e a ótica física. Em um primeiro momento, mostramos a natureza ondulatória da luz, realizando experiências de interferência e difração, utilizando lanternas, cílios postiços e CDs, como instrumentos para a sua decomposição. A natureza corpuscular foi evidenciada utilizando sensores de calculadoras solares; enfim, experiências que permitem desmistificar muitos aspectos do cotidiano do estudante.

Apresentamos esta Oficina durante a 5^a SBPC Jovem, de 13 a 18 de julho de 1997, em Belo Horizonte, para um público constituído de professores do ensino médio e alunos do ensino fundamental e médio; na 3^a *Mostra de Material de Divulgação e Ensino das Ciências*, de 27 a 31 de agosto de 1997, em São Paulo, bem como na *IX Semana de Física*, realizada pelo Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora no período de 06 a 10 de outubro de 1997, dentre outros eventos¹⁴⁻¹⁸. Diante do sucesso do trabalho, essa Oficina tem sido oferecida sistematicamente pela Escola do Futuro da USP.

II. Desenvolvimento da Oficina

Um dos objetivos da Oficina é mostrar o nascimento da Mecânica Quântica e a sua importância na mudança de concepção de mundo e de postura diante da vida do homem moderno. Para isto se faz necessário entender inicialmente a diferença fundamental entre um comportamento ondulatório e corpuscular. Este trabalho é efetuado com muito rigor e cuidado, uma vez que é notória a pouca importância atribuída aos fenômenos ondulatórios no ensino médio. Trabalhamos inicialmente com a concepção espontânea que cada indivíduo traz sobre as possíveis diferenças entre onda e partícula. Geralmente obtém-se como resultado dessa discussão, gestos imitando movimentos ondulatórios, exemplos de ondas se

propagando na água e alguns comentários sobre ondas de rádio. Quanto às partículas, o resultado é uma associação a algo concreto, que se pode pegar, que apresentam massa e que se pode localizar com precisão.

Através da manifestação de cada turma provocamos então uma discussão sobre a questão da energia carregada por cada um desses comportamentos. Mostramos que:

- A energia em uma onda se propaga, enquanto que, para as partículas, esta energia é concentrada no local onde a partícula estiver.
- A energia propagada por uma onda é proporcional à amplitude desta onda ao quadrado (para isso geralmente usamos o recurso de uma corda e transmitimos pulsos de amplitudes diferentes, perguntando em quais das situações vivenciadas pelo professor o impacto transmitido pela onda foi maior).
- Ondas se interferem e as partículas colidem....

Em um segundo momento, passamos a discutir os tipos de ondas existentes e, em particular, dando atenção especial às ondas eletromagnéticas.

III. Ondas eletromagnéticas

O que têm em comum as ondas de rádio, a luz e os raios X? Apesar de apresentarem propriedades diferentes, são radiações semelhantes: qualquer uma delas é uma vibração de campos elétricos e magnéticos que se propagam no espaço com a velocidade da luz, isto é, são ondas eletromagnéticas e o que as diferencia é o comprimento de onda. O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas recebe o nome de espectro eletromagnético. Durante a explanação inicial, o aluno/professor observa as projeções do esquema de uma onda eletromagnética (Fig. 1), no qual é possível identificar o comprimento de onda (λ) e o espectro (Fig. 2), sendo que pode-se distinguir todos os tipos de radiações pelo comprimento de onda.

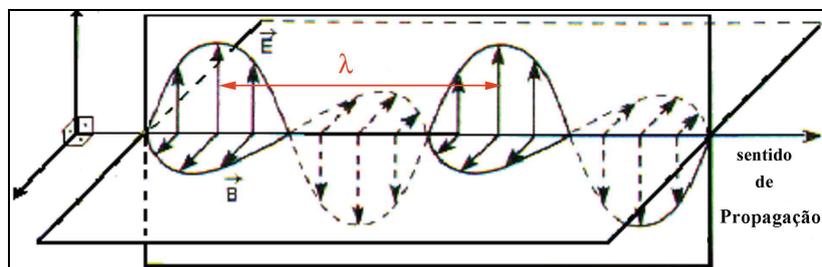


Fig. 1 - Representação esquemática de uma onda eletromagnética, mostrando os vetores campo elétrico e magnético, bem como o comprimento de onda.

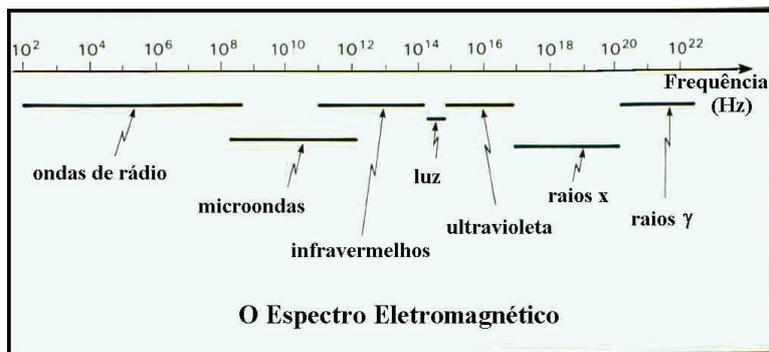
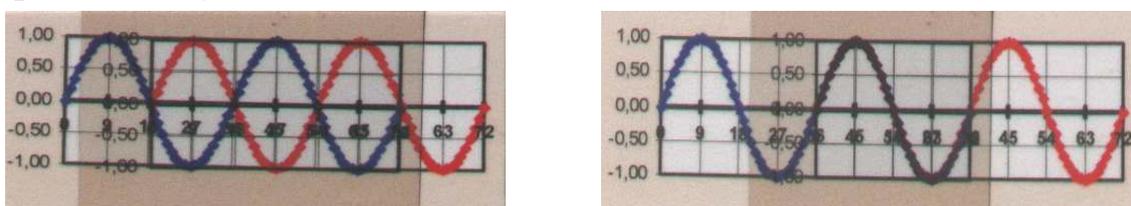


Fig. 2 - Espectro eletromagnético mostrando os diferentes tipos de ondas eletromagnéticas e os correspondentes valores de frequência.

IV. Fenômenos ondulatórios: interferência e difração

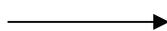
Como ocorre com todas as ondas mecânicas, as ondas eletromagnéticas refletem, refratam, interferem entre si e difratam. Um exemplo disso é o comportamento da luz.

Sempre que duas ou mais ondas se encontram num dado ponto do espaço, se superpõem, isto é, se reforçam em alguns pontos (interferência construtiva) e se anulam em outros (interferência destrutiva). Nesse momento é realizada a primeira atividade durante a Oficina. O aluno/professor recebe duas ondas senoidais de mesmo comprimento de onda, impressas em dois pequenos pedaços de folha de transparência (Fig. 3).



deslocamento

Interferência destrutiva



Interferência construtiva

Fig.3

Atividade 1

Estudo das condições necessárias para se obter interferência construtiva

Com as transparências oferecidas faça o seguinte procedimento:

1. Identifique o comprimento de onda λ de cada uma das ondas senoidais.
2. Superponha as ondas, deslizando uma sobre a outra, somando-as ponto a ponto e verifique em que condição obtém-se interferência construtiva (amplitude resultante máxima) e interferência destrutiva (amplitude resultante nula).

Continue o deslocamento até obter uma nova interferência construtiva e verifique qual o valor do deslocamento necessário para obter-se interferências construtivas consecutivas.

Com esta primeira interação, o professor/aluno "descobre" que as interferências construtivas acontecem sempre que as ondas se encontram deslocadas de uma distância igual a um múltiplo inteiro do comprimento de onda, isto é, $n\lambda$, com $n=1, 2, 3...$. Para interferências destrutivas as ondas se encontram deslocadas de uma distância igual a um múltiplo semi-inteiro do comprimento de onda. Podemos ver que o conceito vai sendo construído em um processo vivencial.

Fenômeno de superposição de ondas de luz: evidência experimental 1

Observe a luz de uma lanterna, projetada na parede. Por que vemos anéis claros e escuros?

Os anéis claros são formados pela interferência construtiva das ondas de luz e os anéis escuros, pela destrutiva. Isso ocorre porque a lanterna tem um espelho esférico e a luz reflete em diferentes pontos desse espelho. Portanto, as ondas de luz caminham distâncias diferentes até chegar à parede. Se a diferença entre os caminhos percorridos por duas ondas for $n\lambda$ ($n=1, 2, 3$), a interferência será construtiva e teremos anéis claros; caso contrário, teremos ausência de luz nos pontos de interferência destrutiva, isto é, anéis escuros.

A difração ocorre quando uma onda contorna um ou mais obstáculos, separados por aberturas (fendas). Ondas luminosas, ao sofrerem difração, invadem a zona de sombra geométrica após contornarem os obstáculos e, ao atingirem um anteparo, produzem interferências construtivas e destrutivas. Vamos observar a difração da luz em nossa segunda experiência.

Um exemplo de difração para diferentes distâncias entre fendas: evidência experimental 2

Verifique as semelhanças e diferenças entre as imagens projetadas na parede para os casos a seguir:

Feixe de luz de uma caneta laser incidindo em:

- fendas de espessuras distintas;
- um fio de cabelo;
- cílios postiços, pena de galinha ou pente de piolho;
- uma rede de difração de 100 fendas por cm;
- uma rede de difração de 530 fendas por mm.

Após observar esses casos, perguntamos ao aluno/professor: qual a condição necessária para ocorrer a difração da luz?

O feixe de luz da caneta laser, ao incidir na parede, produz um único ponto, mas após atravessar a fenda de pequena espessura, o fio de cabelo, produz máximos e mínimos na parede, obtendo-se a difração do feixe. Os cílios postiços produzem vários pontos próximos entre si e irregularmente espaçados, pois os pelos dos cílios estão distribuídos de forma irregular. Já para as redes de difração, os pontos de interferência guardam entre si distâncias idênticas e simétricas em rela-

ção ao ponto central. Além disso, quanto menor é o espaçamento entre as fendas, isto é, quanto mais próximo do comprimento de onda λ da luz ($0,4\mu\text{m}$ a $0,7\mu\text{m}$), maior é o poder de separação da rede. É possível ainda levar o aluno/professor a observar que o primeiro ponto de interferência construtiva mais próximo do ponto central corresponde a $n=1$ (primeira ordem espectral), o segundo ponto mais próximo e com menor intensidade corresponde a $n=2$ (segunda ordem espectral), e assim por diante.

Obs: Redes de difração são lâminas, nas quais fazem-se fendas igualmente espaçadas e muito próximas.

Thomas Young, em 1801, demonstrou o fenômeno da interferência da luz ao fazer com que ondas luminosas difratassem em duas fendas A e B como mostra a Fig. 4.

Em suas experiências conseguiu determinar o comprimento de onda da luz λ , através da lei $n\lambda = d \sin\theta$ (Fig. 5), na qual d é a distância entre as fendas e θ é o ângulo de abertura de cada ponto de interferência construtiva e o ponto central; sendo esta a primeira vez em que a medida de tal grandeza foi realizada.

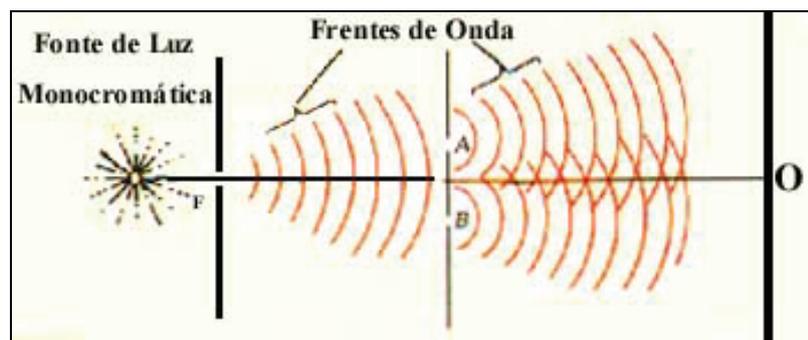


Fig.4- Experiência de Thomas Young.

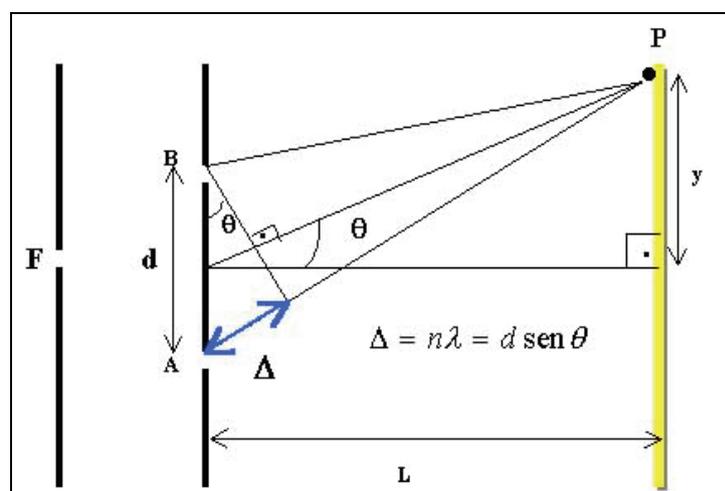


Fig. 5 - Diagrama esquemático para a determinação do comprimento de onda da luz.

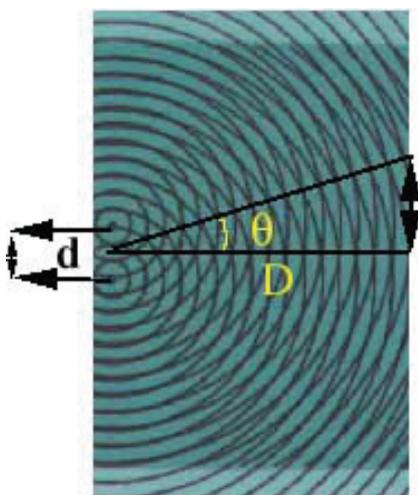
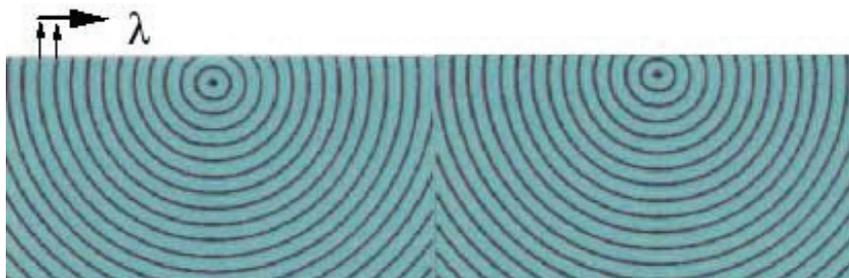
Para comprovar a lei da interferência, o aluno/professor recebe duas ondas esféricas de comprimentos de onda iguais (que simulam as ondas emergentes das fendas A e B), impressas em pequenos pedaços de folha de transparência, para realizar a segunda atividade.

Atividade 2

Medida de comprimento de onda utilizando transparências que simulam ondas esféricas (retomando antigos recursos didáticos)

- Sobreponha as ondas esféricas e observe os diferentes padrões de interferência, variando-se a distância entre as fontes das ondas.
- Escolha um padrão obtido, meça d e θ para $n = 1$. Utilizando a lei $n\lambda = d\sin\theta$, determine o comprimento de onda dessas ondas. Verifique se é possível determinar λ para qualquer distância entre as fontes de onda¹.

¹ Novamente é possível perceber que o fenômeno da difração só é observável para distâncias entre as fontes de onda próximas ao comprimento de onda.



O 1º máximo ($N = 1$) se encontra desviado de um ângulo θ .

A lei de interferência de Young:

$$n \lambda = d \sin \theta$$

Fixando-se uma distância d entre as fontes e traçando-se o triângulo da figura ao lado, pode-se obter o ângulo θ .

Fig. 6

V. Observação de espectros contínuos e discretos

Uma ampliação da experiência de Young consiste em aumentar o número de fendas, constituindo uma rede de difração como as utilizadas na evidência experimental 2. Ao incidir um feixe de luz policromática sobre a rede, cada comprimento de onda sofrerá um desvio diferente de acordo com a lei $n \lambda = d \sin \theta$, produzindo máximos de interferência em pontos diferentes do anteparo. O que se observa então é o espectro da radiação emitida pela fonte de luz, sendo que sólidos incandescentes emitem todos os comprimentos de onda, produzindo um espectro contínuo (Fig. 7), enquanto gases monoatômicos emitem alguns comprimentos de onda característicos do gás, constituindo um espectro discreto (Fig. 8).

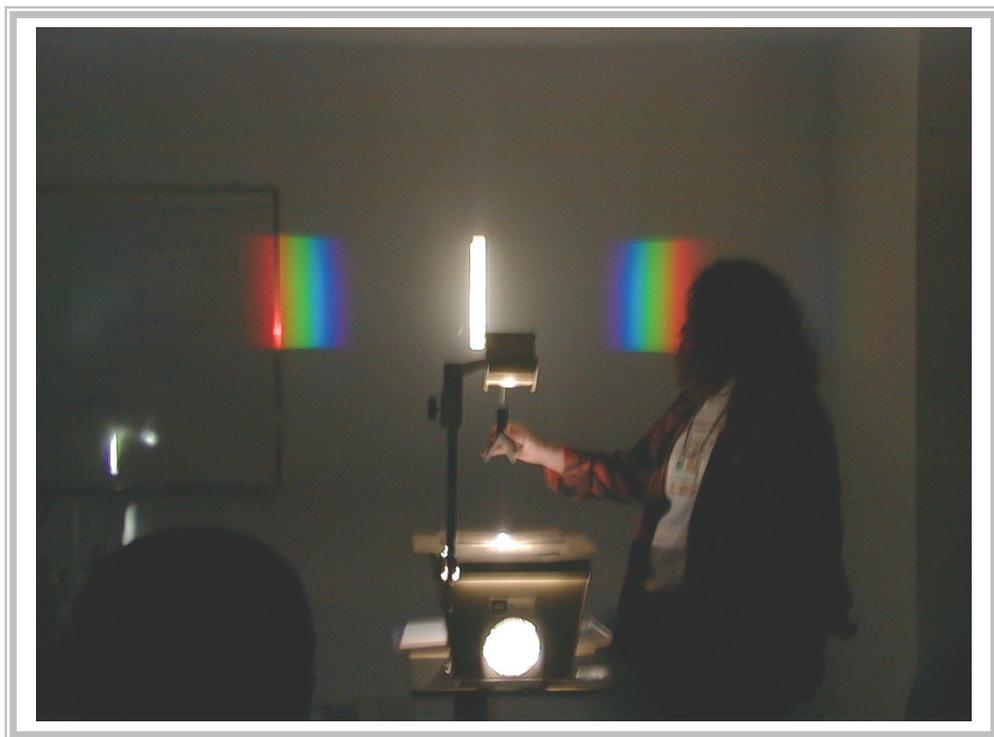


Fig. 7 - Espectro contínuo obtido utilizando como fonte de luz uma lâmpada de um retroprojetor e uma rede de difração.



Fig. 8 - Espectro de uma lâmpada fluorescente de mercúrio, mostrando algumas linhas características desse gás.

Na próxima atividade proposta, o aluno/professor pode observar dois tipos de espectros. No entanto, substituímos a rede de difração por um compact disc (600 ranhuras por mm, aproximadamente). Ao invés das ondas de luz atravessarem as fendas da rede de difração, refletem nas ranhuras, produzindo anéis de interferência

no anteparo. As ranhuras do CD são igualmente espaçadas por uma distância d próxima do comprimento de onda da luz.

Atividade 3 Observação espectral utilizando um CD

- a) Incidir sobre o compact disc o feixe de luz de uma lâmpada de filamento de uma lanterna. Ajuste a posição da lente convergente de modo a projetar sobre o anteparo o feixe refletido devidamente focado.
- b) Observe o espectro contínuo da radiação em forma de anéis e relacione os raios dos mesmos com seus respectivos comprimentos de onda (Fig. 5).
- c) Verifique o que ocorre com o espectro ao introduzir – se filtros vermelho, verde e violeta entre a fonte e o CD.

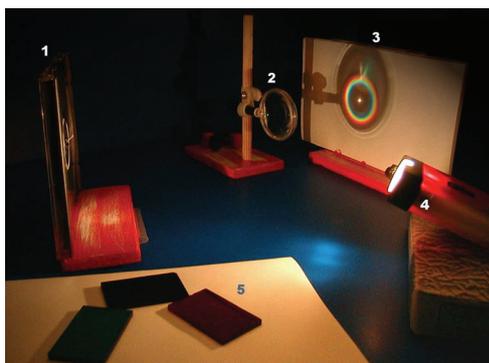


Fig. 9 - Espectro contínuo produzido por um CD utilizando como fonte de luz uma lanterna, onde: (1) é um CD que decompõe a luz, (2) é uma lupa para projeção do espectro, (3) é o espectro contínuo em forma de anéis, (4) é a lanterna com uma lâmpada de filamento e (5) são filtros, vermelho, violeta e verde.

- d) Agora coloque uma lâmpada fluorescente (lâmpada de mercúrio de uma lanterna coberta por uma cartolina preta com um orifício colimador) em sua testa e posicione-se de modo que o feixe de luz colimado incida sobre o CD. Olhe diretamente para o mesmo. Observe o espectro discreto em forma de anéis e verifique as semelhanças e diferenças em relação ao observado no item b.



Fig. 10 - Professores observando o espectro de uma lâmpada de Hg produzido por um CD durante a Escola 99 do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, RJ em julho de 1999.

De acordo com a lei $n \lambda = d \sin \theta$, para n e d fixos, quanto maior λ , maior será o desvio θ sofrido pelo anel de interferência, isto é, maior será o raio do anel. É o que se observa tanto no espectro contínuo como no discreto; a radiação vermelha, de maior comprimento de onda visível, produz o anel de maior raio enquanto a violeta, de menor comprimento de onda visível, produz o menor anel.

Com as experiências realizadas até o momento o aluno/professor encontra-se em condições de compreender que um dos modos de se verificar o comportamento ondulatório é através dos fenômenos de interferência e difração.

VI. Comportamento dual da luz

Foi em 1887 que Heinrich Hertz realizou as experiências que confirmaram a existência de ondas eletromagnéticas e ainda observou que uma descarga elétrica entre dois eletrodos é facilitada quando radiação ultravioleta incide em um deles, fazendo com que elétrons sejam emitidos de sua superfície. Esse fenômeno foi chamado *Efeito Fotoelétrico*. No entanto, não era possível explicar como ondas poderiam arrancar elétrons de uma superfície metálica.

Para o início da discussão sobre o *Efeito Fotoelétrico*, realizamos uma experiência na qual o aluno/professor observa a transformação de energia luminosa em energia elétrica, conforme indica a Fig. 11.

Para uma melhor compreensão, utilizamos alguns softwares disponíveis na Internet em Java que permitem mostrar a dependência da energia cinética dos elétrons emitidos com a frequência da luz incidente.

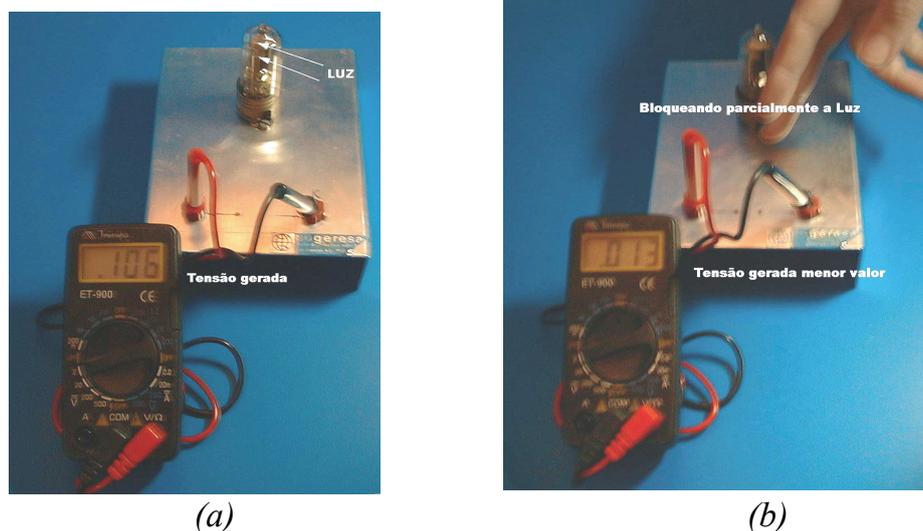


Fig. 11 - Célula Fotoelétrica industrial ligada a um multímetro digital, que mostra a transformação de energia luminosa em elétrica. A intensidade da corrente elétrica é diretamente proporcional à quantidade de luz incidente. Na Fig. 11(a), com uma incidência maior de luz, maior foi a tensão obtida (no exemplo, 0,106V); na Fig.11(b), com uma incidência menor de luz, um menor valor de tensão foi achado (no exemplo, 0,013 V).

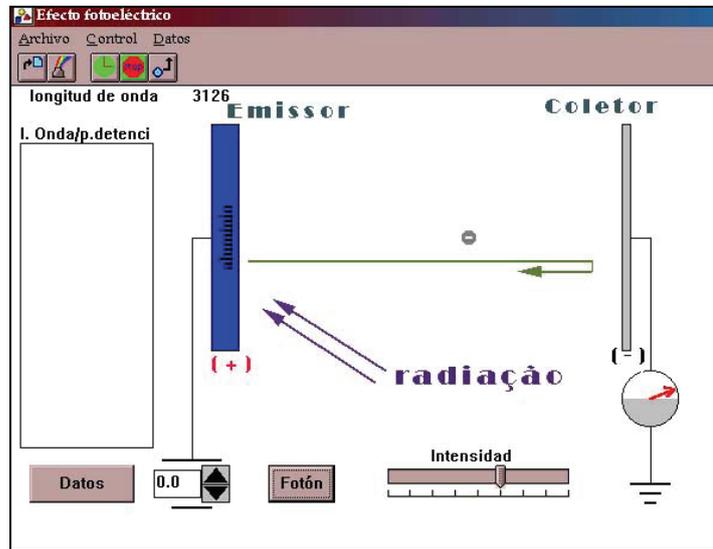
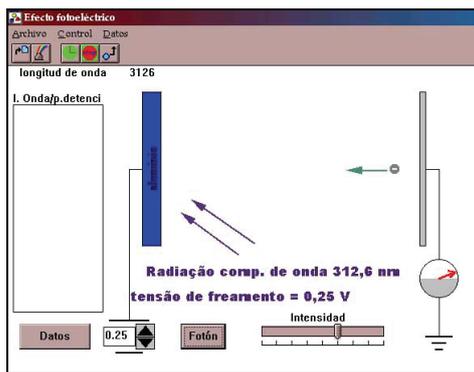
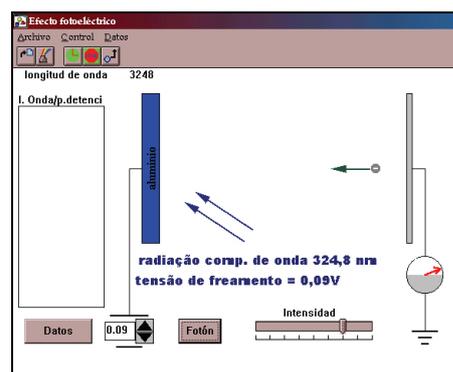


Fig. 12 - Para se determinar a energia máxima do elétron emitido, devemos aplicar uma diferença de potencial, para frear totalmente o elétron conforme mostra a figura. A energia é proporcional a diferença de potencial aplicada. Software disponível na Internet no Site: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/>



(a)



(b)

Fig. 13 (a) - Radiação incidente de 312,6 nm e tensão de freamento igual a 0,26V; (b) radiação incidente 324,8 nm e tensão de freamento igual a 0,09 V. A simulação mostra que para radiação de maior frequência (a) obtém-se um maior valor para a diferença de potencial de freamento aplicada.

O resultado contraria as previsões da teoria ondulatória para a luz, pois a energia de uma onda, como vimos, é proporcional a amplitude da mesma.

Em 1905, Einstein propôs uma nova teoria para explicar o efeito fotoelétrico. Para ele, a energia luminosa percorre o espaço concentrada em pacotes, denominados fótons, cada um com energia $E = h\nu$ (onde h é a constante de Planck e ν é a frequência da luz). Cada fóton libera um elétron quando incide na placa metálica, explicando assim como a descarga elétrica é produzida com a incidência de luz.

Portanto a luz e, por extensão, todas as radiações eletromagnéticas comportam-se como ondas em fenômenos como interferência e difração e como partículas em fenômenos como o efeito fotoelétrico, isto é, a radiação eletromagnética apresenta um caráter dual.

Em uma atividade seguinte, propomos ao professor que determine experimentalmente a constante de Planck, utilizando para isso dois *leds* (light emissor diode – material semiconductor que emite luz de frequência definida), um vermelho e outro verde, e determine a tensão necessária para acender cada um desses *leds*.

Atividade 04

Verificação dos Efeitos produzidos pela incidência de luz em alguns materiais

Experimento: Retiramos a lâmina sensora de uma calculadora solar e conectamos um *led* em seus eletrodos. Havendo luz sobre o sensor, o *led* acende. Mais recentemente temos utilizado um LDR como sensor fotoelétrico e, através deste sensor, construímos o que chamamos espectrofotômetro caseiro (Fig.14).

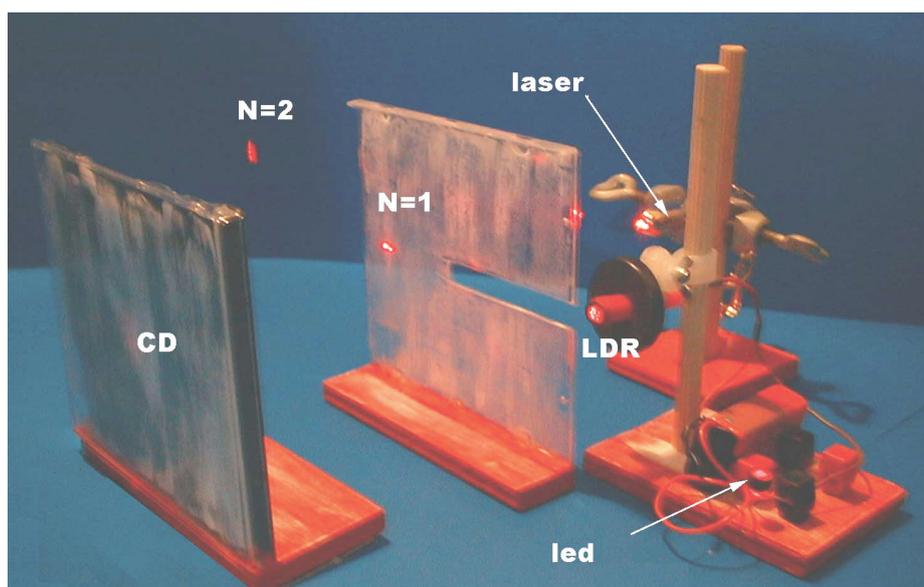


Fig. 14- A figura mostra o espectrofotômetro caseiro construído durante a Oficina, indicando o caráter dual da radiação luminosa.

VII. Comportamento dual da matéria

Em 1924, Louis de Broglie, baseando-se no comportamento dual da radiação, sugeriu que se procurasse um comportamento ondulatório para a matéria, supondo que o comprimento de onda das ondas de matéria fosse dado por $\lambda = h/p$, no

qual p é a quantidade de movimento associada à matéria e é dada pelo produto de sua massa pela sua velocidade, isto é, $p = mv$.

Vamos calcular o comprimento de onda λ da onda associada ao movimento de algumas partículas.

Bola:

$$m = 1,0 \text{ kg e } v = 10 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{h}{mv} = 6,6 \times 10^{-25} \text{ \AA}$$

Elétron:

$$m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg e Energia} = 50 \text{ eV}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_c}} = 1,2 \text{ \AA}$$

Analisando os resultados, vemos que para observar aspectos ondulatórios no movimento da matéria, precisamos de sistemas com fendas muito menores do que aquelas encontradas nas redes de difração.

Na época de De Broglie, o sistema com as menores dimensões que se conhecia utilizava o espaçamento entre planos adjacentes de átomos em um sólido cristalino, onde a distância entre os planos é da ordem de $d = 1 \times 10^{-10} \text{ m}$, ou 1 \AA . Mesmo assim, com esse sistema só seria possível observar efeitos de difração com elétrons, cujo comprimento de onda λ é da ordem de 1 \AA .

A natureza ondulatória dos elétrons foi confirmada em 1927, através das experiências de Davisson e Germer, nos Estados Unidos, e por G. P. Thomson, na Escócia.

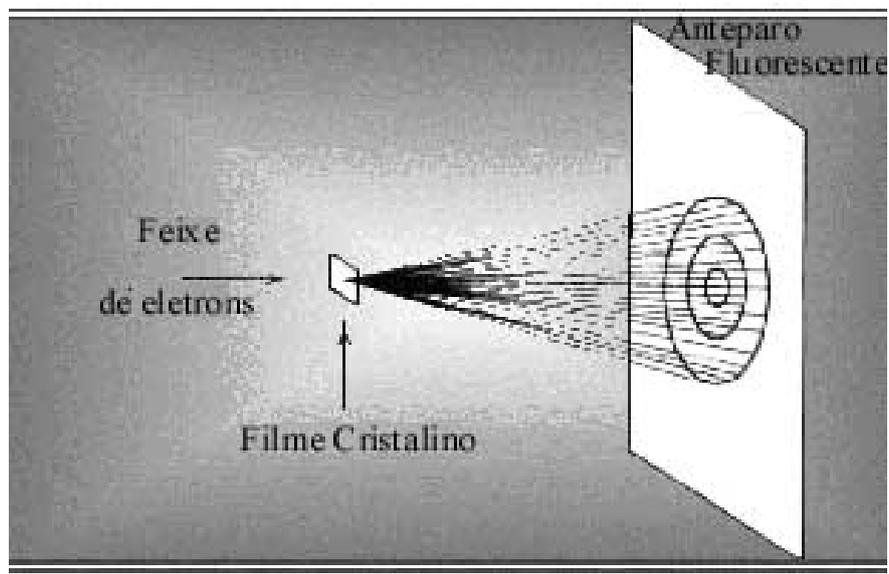


Fig. 15 - Esquema do experimento de G.P Thomson para a difração de elétrons; um feixe de elétrons incide em um fino cristal produzindo anéis de interferência na tela.

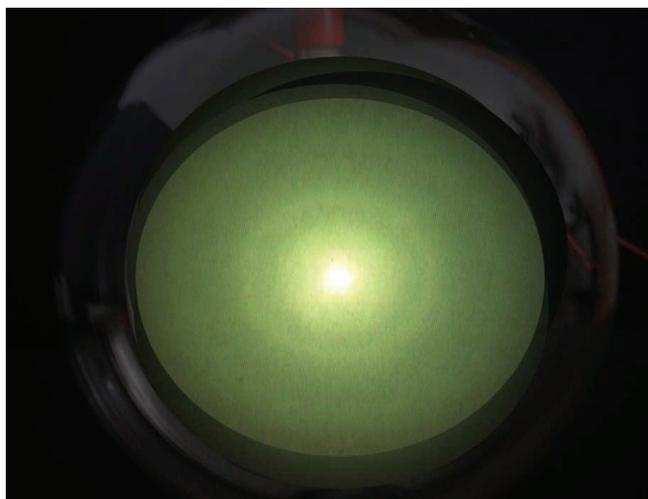


Fig. 16 - Anéis de difração de elétrons observados na tela fluorescente de uma ampola produzida pela PHYWE (empresa alemã que produz equipamentos didáticos).

A Fig. 17 mostra o software de simulação do experimento de G. P. Thomson desenvolvido na PUC/SP por Mario Fontes².

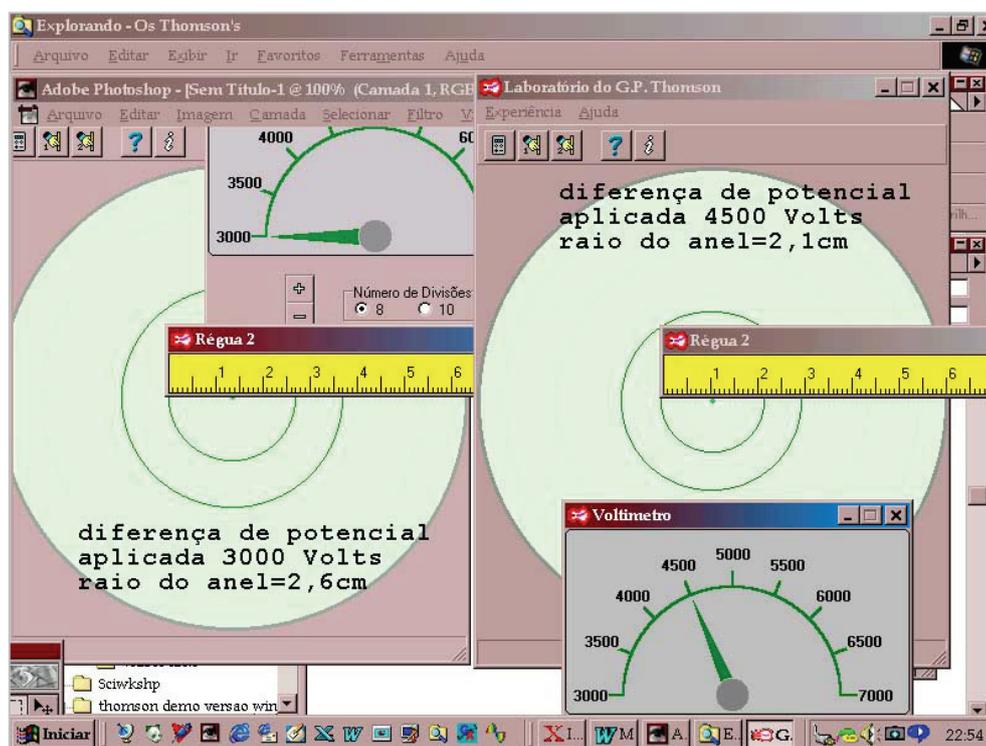


Fig. 17 - Tela do computador em duas condições diferentes, obtidas através do software de simulação para a tensão aplicada entre ânodo e cátodo, com comprimentos de onda distintos para a onda associada ao elétron e, conseqüentemente, raios diferentes para os anéis de interferência.

² Mario Fontes, pesquisador da Escola do Futuro USP/SP, bacharel em Ciências da Computação pela PUC/SP.

Atividade 05

Utilizando o software de simulação para a verificação da difração de G. P. Thomson

Trabalho realizado utilizando o software desenvolvido:

Não deveríamos esperar apenas um anel de difração, já que os elétrons, acelerados pela mesma diferença de potencial, têm o mesmo comprimento de onda? Varie a diferença de potencial aplicada para acelerar o feixe de elétrons e verifique o que ocorre com o raio dos anéis de difração.

O cristal utilizado para difratar o feixe de elétrons é um cristal de grafite que possui diferentes espaçamentos entre os planos interatômicos, sendo assim, para cada distância interatômica é formado um anel de difração. Quando aumentamos a diferença de potencial que acelera o feixe de elétrons, o comprimento de onda da onda associada ao elétron diminui, e da mesma forma que observamos com a difração da luz no CD, quanto menor o λ , menor será o raio do anel. Os anéis são espessos porque, apesar de fixarmos uma diferença de potencial para observar o fenômeno, os elétrons do feixe não atingem o cristal exatamente com a mesma energia.

Não apenas elétrons, mas todos os objetos, carregados ou não, apresentam características ondulatórias em seu movimento. Tanto para grandes como para pequenos comprimentos de onda, **a matéria e a radiação apresentam os dois aspectos, o ondulatório e o corpuscular**. Os corpusculares manifestam-se quando há centralização de energia em algum lugar no espaço; essa evidência caracteriza-se pela associação de uma quantidade de movimento. Os aspectos ondulatórios são evidenciados quando se estuda o movimento através de um sistema.

VIII. Conclusão: caráter interdisciplinar desta Oficina

O trabalho realizado nessa Oficina mostra o desenvolvimento da Ciência no início do século XX. A comprovação do comportamento ondulatório da natureza coloca um fim para o princípio do determinismo. Nasce uma nova concepção de ver o mundo; as diferentes versões da verdade, a necessidade de uma estatística de previsões. Não se pode mais definir com o mesmo grau de precisão posição e a velocidade de uma partícula e, já que associamos uma onda à partícula, devemos buscar a sua localização através de informação sobre o quadrado da amplitude da função de onda a ela associada (conhecida como densidade de probabilidade na Mecânica Quântica).

Para localizarmos uma partícula, basta descobrir “onde está a energia” (comportamento corpuscular tem a propriedade de centralizar a energia) e para o comportamento ondulatório a energia se propaga sendo proporcional ao quadrado de

sua amplitude. O que, portanto, nos fornece informação sobre a posição de uma partícula será o módulo de sua função de onda ao quadrado.

Um outro aspecto relevante é que nunca poderemos provar simultaneamente os comportamentos ondulatórios e corpusculares de qualquer ente físico sem que haja a interferência do observador sobre o sistema físico, isto gera o princípio das incertezas de Heisenberg.

Talvez uma visão muito interessante seja a versão de Niels Bohr em seu *princípio da complementaridade*. Os modelos corpusculares e ondulatórios são complementares, se uma experiência prova o caráter ondulatório da radiação ou matéria, então é impossível provar o caráter corpuscular no mesmo experimento e vice versa.

Uma analogia com essa situação seria, por exemplo, uma foto de uma pessoa e uma paisagem de fundo. Se você focalizar a pessoa, perderá a nitidez da paisagem, mas se focalizar a paisagem de fundo, obrigatoriamente, perderá a nitidez da fisionomia da pessoa.

Filosoficamente, a realidade tem duas faces complementares e o mundo do nosso conhecimento seria assim, você pode ter uma visão do todo com uma representação compreensível, porém, ao observar detalhes em algumas partes desse todo, o que ganhará em observação para certas partes, perderá proporcionalmente em outras.

Isso mostra que, além de conceitos relevantes para a formação de professores de Física, este trabalho assume uma abordagem universal que permite uma melhor compreensão das formas contemporâneas de linguagem e de um melhor domínio dos conhecimentos de Filosofia e de Sociologia necessários ao exercício da cidadania.

Em função principalmente desse aspecto interdisciplinar, atingimos um elevado grau de sucesso no nosso trabalho, inclusive garantindo-nos convites para realizar a Oficina não apenas para professores de Física, mas também para outras áreas do conhecimento, como por exemplo, alunos de pós-graduação do Centro de Educação e do curso de graduação em História da PUC/SP, obtendo um alto grau de interatividade e uma excelente recepção.

Este trabalho mostra como podemos, portanto, garantir uma inserção gradativa dos nossos estudantes, em qualquer área do conhecimento, no seu tempo e espaço, permitindo-lhes uma conquista das inovações tecnológicas do século XX e sua interferência no cotidiano do homem moderno.

Referências bibliográficas

1. MENEZES, L.C; HASOUME, Y. Para lidar com o mundo real, a Física escolar também precisa ser quântica. In: SNEF, XII, 1997. **Resumos...** p.57.

2. CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Inserção de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma proposta experimental. In: SBPC JOVEM, 5, 1997, Belo Horizonte. **Anais da SBPC JOVEM...**
3. CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C. Ensino de Física. In: MOSTRA DE MATERIAL DE DIVULGAÇÃO E ENSINO DAS CIÊNCIAS NA ESTAÇÃO CIÊNCIA, 3, 1997, São Paulo.
4. CAVALCANTE, M. A. Instrumentação em Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. In: SBPC JOVEM, 6, 1998, Natal. **Anais da SBPC JOVEM...**
5. KALINOWSKI, H. J.; GARCIA, N. M. D. Uma alternativa econômica para rede de difração no laboratório de ensino. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 7, n. 1, p. 64-72, 1990.
6. COLUSSI, C. V.; CANSIAN, M. A. Rede de difração holográfica: Uma opção eficiente de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 17, n. 3, 1995.
7. 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**, v. 16, n. 2, p.154-169, 1999.
8. CAVALCANTE, M. A.; BENEDETTO, A. Instrumentação em Física Moderna para o ensino médio: uma nova técnica para a análise quantitativa de espectros. **Revista Brasileira de ensino de Física**, v. 3, 1999.
9. EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Ed. Campus, 1983.
10. GILBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982. p.346-354.
11. <<http://mesonpi.cat.cbpf.br/verao98/marisa>> Home Page, onde os trabalhos do grupo GOPEF/PUC/SP- Escola do Futuro/USP-SP podem ser encontrados.
12. <<http://www.davis-inc.com/physics/>> Ondas Mecânicas; Louis de Broglie.
13. <<http://www.aip.org/history/electron/>> Descoberta do elétron.
14. <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> Grupo de História e Teoria da Ciência
15. <<http://www.eoe.org/FMPro>> Neste site, encontra-se várias simulações em Java (mais de 500) em todas áreas de Física do mundo inteiro.

16. <<http://www.phy.ntnu.edu.tw/java/index.html>> Este site contém varias animações em Java, desde assuntos em Física Clássica, incluindo alguns tópicos de Física Moderna, particularmente sobre Relatividade.
- 17.<<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/FisicaModerna/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>> Este site apresenta uma simulação altamente didática sobre o Efeito Fotoelétrico, incluindo a construção gráfica para a determinação da constante de Planck.
18. <<http://wigner.byu.edu/appmenu.htm>> Este site é de autoria de Phillip Dukes, Dept. of Physics and Astronomy Brigham Young University.