

UMA AULA SOBRE O EFEITO FOTOELÉTRICO NO DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS E HABILIDADES

Tavolaro, Cristiane R.C. ^a [cris@pucsp.br]
Cavalcante, Marisa A. ^b [marisac@pucsp.br]
Souza, Dione F. ^c
Muzinatti, João ^d

^aGoPEF-PUC/SP

^bGoPEF-PUC/SP

^c IFSC/USP

^d PUC/SP

RESUMO

Existe hoje, uma preocupação latente nos professores em adequar cada vez mais suas aulas a um trabalho interdisciplinar. No entanto, sabemos o quanto ainda estamos despreparados para fazer deste trabalho uma rotina. Este artigo, pretende mostrar como podemos, utilizando-se de recursos experimentais e computacionais, criar uma aula dinâmica e ao mesmo tempo interdisciplinar, envolvendo professores de Filosofia, Matemática e Física, através de um tema fascinante, quanto o comportamento dual da luz com suas aplicações tecnológicas e implicações filosóficas.

ABSTRACT

It exists today, a latent concern in the teachers in adapting its classes more and more to an interdisciplinary work. However, we know that in spite of the many researchers' efforts and teachers are not still prepared to do a routine of this work in all Brazilian schools. This article intends to show, using experimental and computational resources, that we are able to create a dynamic class involving teachers of Philosophy, Mathematics and Physics through a fascinating theme as the dual behaviours of the light with its technological applications and philosophical implications.

INTRODUÇÃO

Em 1905, um físico desconhecido, Albert Einstein, que trabalhava como examinador de patentes em Berna, Suíça, publicou três trabalhos revolucionários. O primeiro trabalho procurou explicar o movimento das moléculas num líquido, conhecido como movimento browniano; o segundo foi o famoso trabalho sobre a relatividade, e o terceiro, que Einstein considerou o mais revolucionário, explicou o fenômeno conhecido como Efeito Fotoelétrico.

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 dentro de uma ampola de vidro é facilitada quando radiação luminosa incide em um deles, fazendo com que elétrons sejam emitidos de sua superfície. Esse fenômeno foi chamado *Efeito fotoelétrico*.

As conseqüências dessa descoberta são muito úteis em nosso dia-a-dia pois a energia da luz pode ser transformada diretamente em eletricidade!

Dispositivos que são utilizados para abrir e fechar portas, acionar sistemas de alarme, etc, são construídos com material semicondutor que apresentam variação de resistência, ou força eletromotriz quando iluminados. A interação entre a luz e este tipo de sensor, ocorre através do seu comportamento corpuscular evidenciado no efeito fotoelétrico.

Este trabalho propõe a utilização de diferentes recursos educacionais que permitam envolver os nossos jovens não apenas em discussões técnicas relativas ao fenômeno, mas também prepara-lo para enfrentar as questões epistemológicas acerca deste tema. Desta forma enfrentamos o grande desafio para a atualização pretendida no aprendizado de Ciência e Tecnologia, no Ensino Médio com a elaboração de materiais instrucionais apropriados.

Em se tratando de filosofia, a discussão sobre o *efeito fotoelétrico* apresenta muitas possibilidades de reflexão. E um dos temas mais importantes nesse sentido seria a discussão sobre os *princípios racionais* que, dentro do pensamento humano, vêm sofrer sérios questionamentos no momento em que novas teorias são estruturadas no início do século XX.

No desenvolvimento da física a partir de Newton, a *razão* sempre fora o caminho por excelência para que as verdades do Universo se fizessem conhecer. E, nesse contexto, a natureza ondulatória da luz estava perfeitamente coerente com a visão determinista de mundo. Mas, nessa trajetória, “as idéias de substâncias, partículas e forças penetraram o campo da ótica [e] finalmente o velho ponto de vista filosófico ruiu”.¹ A luz, que até então era explicada apenas como onda luminosa, passou a ter também a característica de matéria, pois seria formada por partículas descontínuas.

Isso representou um golpe considerável dentro do pensamento racional, abalando um dos seus princípios norteadores, pois permitia que um mesmo fenômeno pudesse ter duas explicações até então excludentes. Tal questionamento foi tão importante dentro do pensamento filosófico moderno, que acabou contribuindo para que a *indeterminação* também passasse a se constituir em fundamento para certas escalas do pensamento racional. É, sem dúvida, um momento de grande importância dentro da filosofia contemporânea e que determinará novos caminhos nos domínios da *razão*.

Então, a filosofia pode aproveitar esse momento para trazer, senão todas, muitas dessas discussões aos nossos alunos. Aquilo que vivenciamos pode não ser exatamente como sentimos ou percebemos. As atividades práticas e teóricas desenvolvidas no estudo do efeito fotoelétrico podem servir de fator desencadeador para um questionamento mais atento das "verdades" da ciência. Nada como uma atividade científica acerca de uma conquista marcante para detonar questionamentos justamente no sentido contrário.

OBJETIVO

Os recursos apresentados neste trabalho envolvem experimentos, simulações computacionais disponíveis na Internet e prevê a realização de um debate em sala de aula, em que parte dos alunos deve defender o comportamento ondulatório da luz e outra parte defender o comportamento corpuscular. O professor deve ser o mediador e mostrar as implicações que decorrem de cada observação efetuada ao longo do debate, apontando soluções e dificuldades, objetivando desenvolver competências e habilidades de acordo com as referências estabelecidas pelos Novos Parâmetros Curriculares Nacionais [20] tais como;

¹ A Eintein & L. Infeld, A Evolução da Física, p. 82.

- Utilizar e compreender tabelas, gráficos e relações matemáticas gráficas para a expressão do saber físico. Ser capaz de discriminar e traduzir as linguagens matemática e discursiva entre si.
- Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma a outra situação, prever, avaliar, analisar previsões.
- Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.

Com o intuito de prestar uma pequena contribuição aos professores de Física no Ensino Médio, vamos inicialmente efetuar uma abordagem conceitual e geral sobre a descoberta do Efeito Fotoelétrico e ao longo desta explanação faremos indicação dos recursos educacionais que podem ser utilizados em uma prática pedagógica interdisciplinar.

É importante notar que, exceto no que tange a utilização de simulações computacionais, todos os recursos já são velhos conhecidos de todos. O mérito deste trabalho está em reunir todas estas possibilidades, dando a cada uma delas uma roupagem nova, adaptando-as as vantagens tecnológicas disponíveis atualmente, permitindo modificar o posicionamento e a estrutura da própria escola, relativamente ao aprendizado individual e coletivo.

O EXPERIMENTO

Esta proposta envolve dois recursos educacionais distintos: uma simulação computacional e um experimento prático. Cada um deles nos levará a resultados aproximados da constante de Planck.

Simulação computacional do Efeito Fotoelétrico

Para uma compreensão sobre o Efeito Fotoelétrico, sugerimos ao professor a utilização de alguns softwares disponíveis na Internet.

No endereço; <http://www.sc.edu.es/sbweb/fisica/default.htm> encontramos vários softwares de autoria do prof. Angel Franco Garcia, compondo um curso interativo de Física pela Internet. Dentre estes softwares, para windows 3.1 ou superior, temos uma simulação do experimento sobre Efeito Fotoelétrico que permite verificar a dependência da energia cinética dos elétrons emitidos em relação à intensidade da luz incidente e a dependência com o material do emissor. A figura 01 mostra um esquema do experimento de simulação proposto.

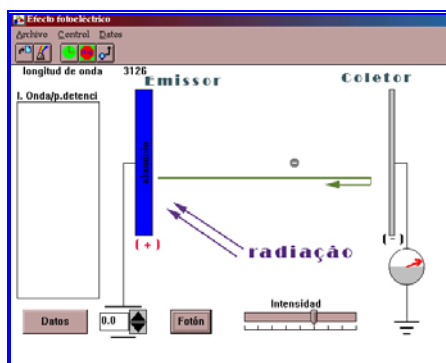


Figura 01: Esta figura mostra a tela inicial do software de simulação do Efeito Fotoelétrico. Para se determinar o valor da energia máxima do elétron fotoejetado, devemos aplicar uma diferença de potencial, para frear totalmente o elétron. A energia é proporcional a diferença de potencial aplicada.

Após incidir a luz no emissor, uma diferença de potencial é aplicada de modo a frear totalmente o elétron emitido.

A energia do elétron fotoejetado é diretamente proporcional a diferença de potencial aplicada entre os eletrodos, conhecida como potencial de corte. Percebe-se após a realização desta simulação que a energia cinética do elétron emitido independe da intensidade da luz incidente, mas existe uma dependência desta energia com relação à frequência da radiação incidente. O gráfico da figura 02 foi obtido para os fotoemissores, Alumínio e Antimônio.

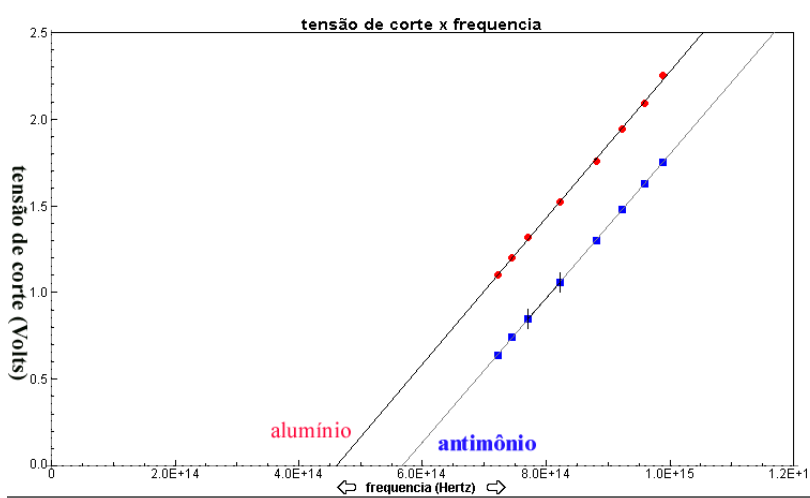


Figura 02: gráfico obtido para os fotoemissores; Alumínio e Antimônio

Estes resultados mostram:

- ✓ relação linear entre a tensão de corte e a frequência da radiação incidente em cada fotoemissor.
- ✓ as retas obtidas apresentam coeficientes angulares muito próximos
- ✓ existe um valor mínimo de frequência abaixo da qual o efeito não ocorre, e este valor varia com o material que constitui o emissor.

Analisando os resultados obtidos na simulação

A explicação clássica para o efeito fotoelétrico diz que a interação do campo elétrico da luz incidente com a carga do elétron é responsável pela absorção de energia por parte deste último, o que se reflete num movimento vibracional do elétron com a mesma frequência do campo elétrico. A energia de um corpo em vibração é proporcional à intensidade do movimento. Portanto, a energia do elétron liberado deveria ser proporcional à intensidade da luz, fato este que não era verificado experimentalmente. Além disso, o fenômeno não poderia ser instantâneo, pois o elétron deveria armazenar a quantidade de energia necessária à sua liberação do meio material.

A explicação para o efeito fotoelétrico foi proposta em 1905 por Albert Einstein, depois da formulação de Planck da radiação do corpo negro em 1900. Einstein propôs que a energia da luz incidente estaria concentrada em um pacote (fóton) de valor $h\nu$ e que a intensidade da luz seria proporcional ao número de pacotes. No processo fotoelétrico, a

energia de um pacote seria completamente absorvida por um elétron do emissor. Desta forma, uma energia $h\nu$ seria transferida para o elétron que poderia escapar do catodo se esta fosse suficiente para superar a energia de ligação do elétron com o material do catodo. Temos então a seguinte expressão para a energia do elétron fotogerado:

$$E = h\nu - W \quad (1)$$

onde W é o trabalho de extração fotoelétrica. Se considerarmos E , como sendo a energia cinética dos elétrons mais rápidos emitidos (da superfície do material), termos através da medida da tensão de corte que

$$eV = h\nu - W \quad (2)$$

onde $W = h\nu_0$, e ν_0 representa o limiar de frequência, ou seja a menor frequência, para a qual o efeito ocorre. Então

$$eV = h(\nu - \nu_0) \quad (3)$$

Esta relação nos permite obter o valor da constante de Planck, que antes do modelo de Einsten, representava uma grandeza teórica e a partir de então, pode ser constatada experimentalmente.

O seu valor pode ser obtido da relação:

$$h = \frac{eV}{\nu - \nu_0} \quad (4)$$

isto é

$$h = e * (\textit{inclinação da reta})$$

O gráfico da figura 02 fornece os valores da tabela 1.

Tabela 1

	Inclinação da reta	Valor de h
Alumínio	$4,22 \times 10^{-15}$	$6,76 \times 10^{-34}$
antimônio	$4,15 \times 10^{-15}$	$6,65 \times 10^{-34}$

Valor médio obtido para a simulação: $6,71 \times 10^{-34}$ j.s

A determinação experimental da constante de Planck via o efeito fotoelétrico é uma tarefa árdua e dispendiosa pois requer uma célula fotoelétrica a alto vácuo, uma fonte de luz monocromática e um eletrômetro de alta precisão, pois as correntes elétricas envolvidas são da ordem de picoampéres (10^{-12} Ampéres). A seguir propomos uma maneira instrumentalmente simples de medir a constante de Planck que, em contrapartida, requer um pouco de conhecimento sobre os materiais semicondutores.

Proposta experimental para a determinação da Constante de Planck: Um experimento muito simples

Na experiência seguinte propomos a determinação da constante de Planck, utilizando, para isto dois leds (light emitter diode – material semiconductor que emite luz de frequência definida) um vermelho e outro verde e determinando a tensão necessária para acender cada um destes leds.

Um LED é composto de uma junção de dois materiais semicondutores. Numa primeira aproximação podemos dizer que os semicondutores são materiais que não conduzem corrente elétrica a baixas temperaturas, mas que sua condutividade aumenta com a temperatura.

Para entender o princípio básico de funcionamento destes dispositivos, temos que recorrer aos fundamentos da Mecânica Quântica, que associa a um sólido, bandas de energia, já que sua estrutura propicia o acoplamento dos níveis de energia atômicos. A banda mais energética ocupada por elétrons no estado fundamental é a chamada banda de valência e a banda de condução comporta os elétrons que pode movimentar-se livremente pelo material.

Comportamento de uma Junção P-N

Quando um semicondutor tipo p e um tipo n são colocados em contato, elétrons em excesso da região n e lacunas da região p começam a difundir-se recombinando-se. Podemos dizer que o lado p deste semiconductor fica mais negativo na extremidade da junção que a parte mais interna do material, o mesmo ocorrendo com o lado n que fica mais positivo, conforme ao esquema das figuras 03(a) e (b).

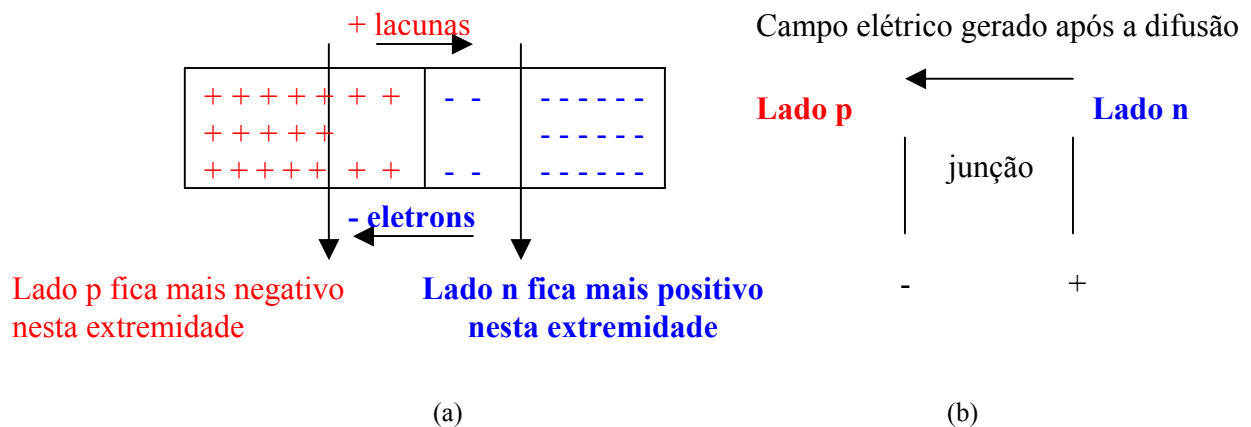
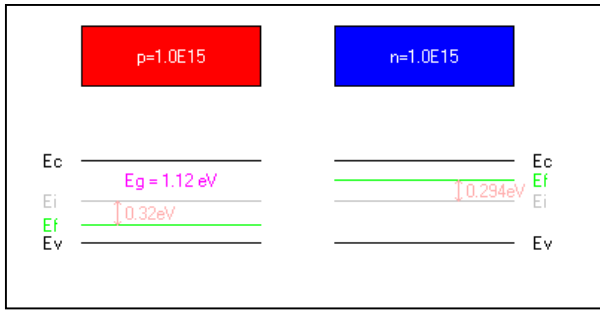
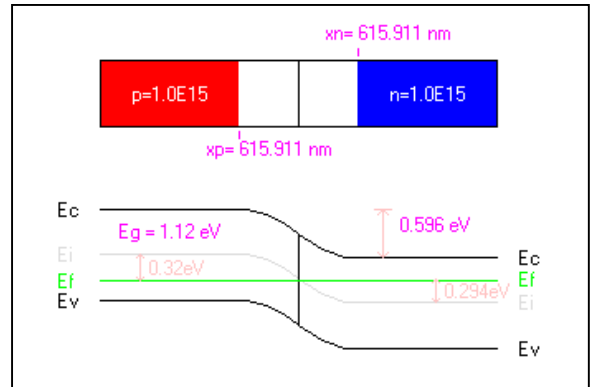


Figura 03. Diagrama esquemático mostrando uma junção P-N

O deslocamento destas cargas vai originar um campo elétrico que cria uma barreira ao movimento. Se aplicarmos um campo elétrico no mesmo sentido que o estabelecido na junção teremos uma corrente elétrica muito pequena que é chamada de corrente térmica. No entanto, se aplicarmos um campo elétrico no sentido oposto ao estabelecido na junção, favoreceremos o deslocamento dos portadores majoritários (elétrons do lado n e lacunas do lado p) gerando correntes tanto maiores quanto maior for o campo externo aplicado. A figura 04 mostra os diagramas de energia obtidos para o silício tipo p e tipo n antes e depois da junção (as concentrações são indicadas na figura em cada caso).



(a) Silício tipo p à esquerda e tipo n à direita



b) Junção pn silício, mostrando a barreira de potencial gerada após a difusão.

Figura 04 : applet disponível no endereço:

http://jas.eng.buffalo.edu/education/pn/pnformation_B/index.html

Diodo emissor de Luz

Um diodo emissor de luz, consiste em uma junção entre semicondutores fortemente dopados. De acordo com o diagrama de energia estabelecido em uma junção, ao aplicarmos um campo elétrico externo oposto ao local, estaremos polarizando diretamente o diodo e fazendo-o conduzir de modo que a corrente elétrica obtida aumenta com a tensão aplicada na junção.

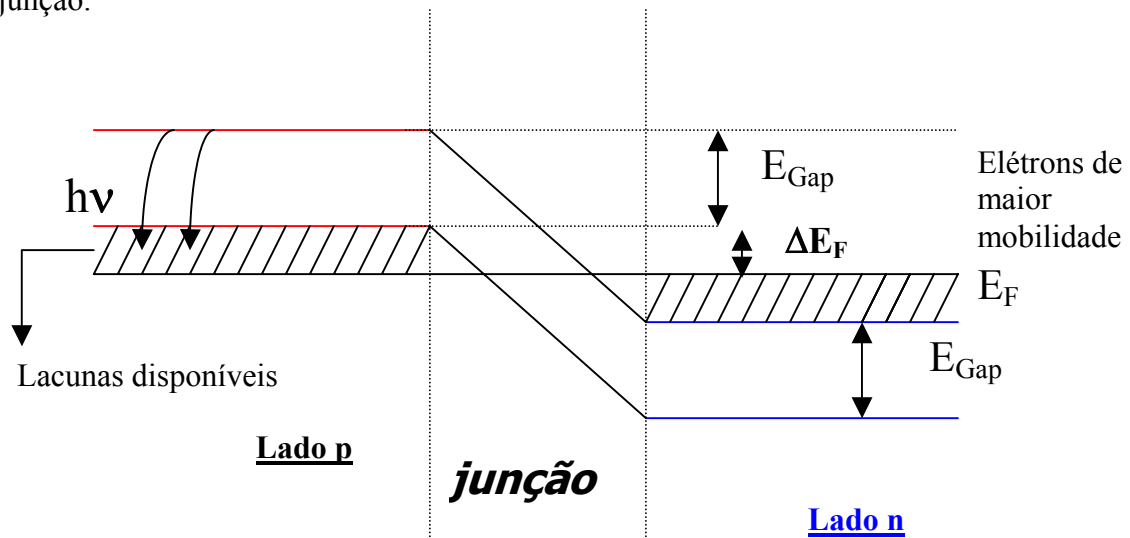


Figura 05: Diagrama de energia para uma junção pn

Quando aplicamos uma tensão externa a junção, os elétrons de condução ganham energia suficiente para vencer a barreira de potencial e caminhar para a região p. Podemos ver na figura 05 que para os elétrons de maior mobilidade, penetrarem na região p a quantidade de energia máxima necessária é dada por:

$$eV_{aplicada} = E_{gap} + \Delta E_F \quad (5)$$

Quando o elétron passar para a região p, podemos ter uma recombinação entre elétrons e lacunas e como consequência, para cada transição teremos a emissão de um fóton com energia $h\tilde{\nu}$. Vê-se facilmente que, a frequência máxima emitida pelo LED é definida pela largura da banda proibida do semiconductor e, podemos dizer que:

$$h\nu_{max} = E_{Gap} + \Delta E_F \quad (6)$$

Ao usar o LED para medir a constante de Planck, supomos que a energia do fóton é aproximadamente igual à energia do gap, onde V na equação 01 é o potencial que “acende” o LED e ΔE_F incorpora os efeitos do nível de Fermi e a distribuição dos elétrons na banda de condução (seria o equivalente à função trabalho no caso de metais). Supondo que ΔE_F seja o mesmo para os LEDs utilizados, as equações 5 e 6 podem ser empregadas para determinar h.

Determinação da constante de Planck

Com o objetivo de determinar a constante de Planck procedemos inicialmente ao levantamento da curva característica dos leds que serão utilizados.

Para isso utilizamos o esquema da figura 06.

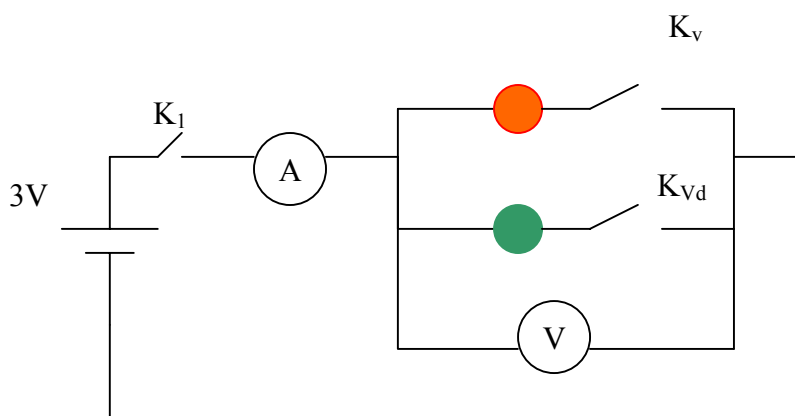


Figura 06. Diagrama esquemático da experiência. Um potenciômetro varia a tensão aplicada aos LEDs verde e vermelho e um voltmetro faz a leitura da ddp aplicada nos terminais dos mesmos.

As chaves K_v e K_{vd} nos permitem selecionar o LED cuja curva característica será obtida. Para uma tensão direta aplicada ao terminal do LED temos a seguinte curva característica da figura 07.

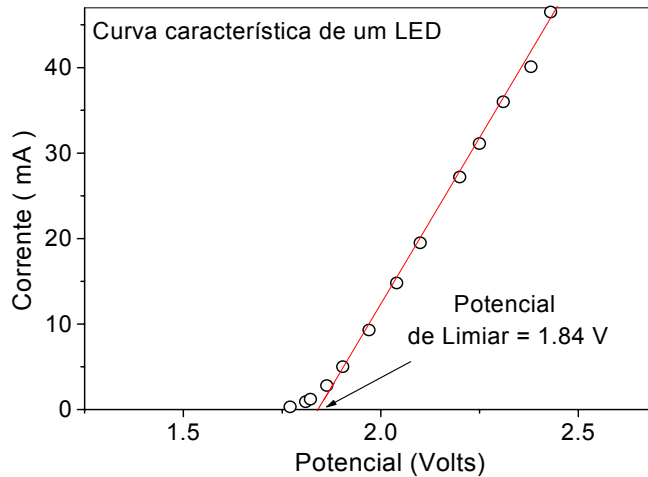


Figura 7. Curva característica de um LED vermelho. Neste exemplo, a emissão do LED estava em torno de 655 nm, ou seja, sua frequência era de aproximadamente 4.58×10^{14} Hz.

No gráfico de $i \times V$ observa-se um valor de tensão para o qual o diodo começa a conduzir corrente. Chamamos tensão de threshold (ou limiar) o valor obtido por extrapolação da reta média. Construindo agora um gráfico da tensão limiar em função da frequência para os LEDs do experimento, obtemos a reta da figura 08(bom seria termos mais LEDs, porém o azul é muito caro).

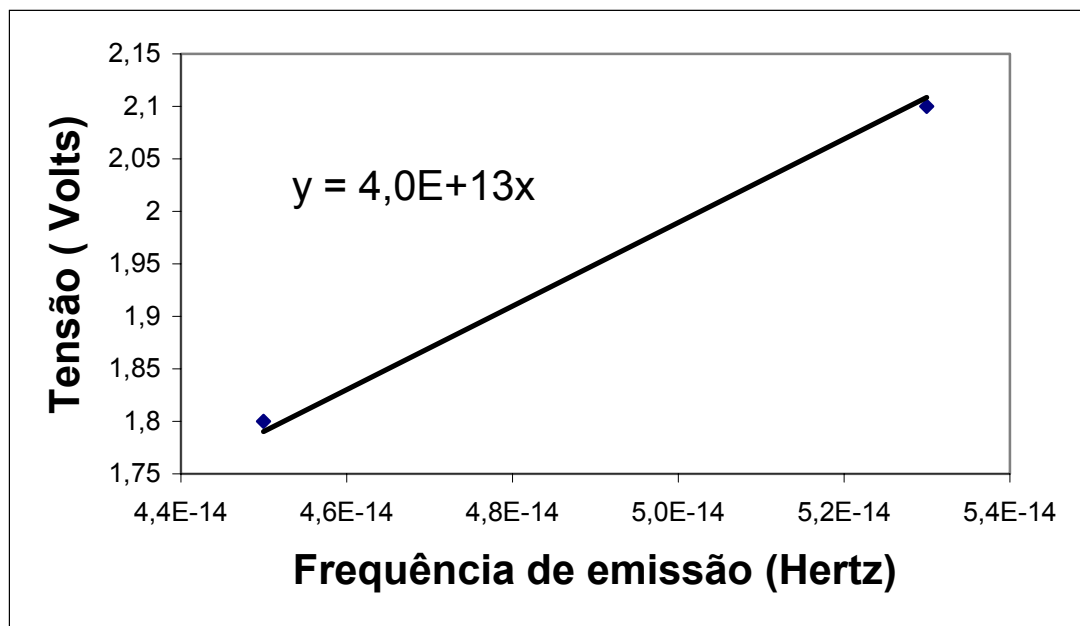


Figura 08. Tensão vs. a frequência para os LEDs do experimento.

Multiplicando o coeficiente angular da reta pela carga do elétron, obtemos

$$h = 6,0 \times 10^{-34} \text{ J. s.}$$

Os leds utilizados foram produzidos pela Radio Schak e apresentavam comprimentos de onda conhecidos. No entanto, a maioria dos LEDs disponível no mercado não traz esta

informação. Para a determinação destes valores, sugerimos o método desenvolvido no trabalho da referência 9, através do qual os comprimentos de onda são obtidos projetando-se em uma tela, os anéis resultantes da decomposição da luz em um compact disk (CD). Para uma melhor precisão neste valor recomenda-se utilizar uma rede de difração convencional, ou um CD transparente analisando-se diretamente o desvio das radiações emitidas pelos leds, em uma régua. Se o que importa não é a precisão na medida, mas o desenvolvimento do aluno, no enfrentamento de soluções intermediárias, tais como a utilizada em curvas de calibração, podemos ainda enriquecer este trabalho efetuando um estudo com o auxílio do professor de Matemática, na tentativa de se verificar qual a função que melhor representa esta calibração. Convém ainda salientar que quando recorremos a uma medida do comprimento de onda, estamos considerando a luz como onda eletromagnética, que interfere e difrata.

Neste momento é oportuno reforçar um aspecto de extrema relevância e, que pode ser mais bem lapidado pelo professor de Filosofia; embora se queira com este experimento determinar a constante de Planck, que caracteriza a quantização da energia para a radiação, não estamos nem por um instante sequer “descartando” o comportamento ondulatório da luz. A prova disto está na própria ação dos alunos, diante da necessidade de conhecer o comprimento de onda da radiação emitida pelo led.

Outra maneira de se obter a constante de Planck é determinar o valor da diferença de potencial mínima aplicada aos terminais do led para fazê-lo acender, em seguida, substituímos estes valores na eq.01 que permite obter os resultados da tabela 02.

Tabela 02

	Led vermelho	Led verde
Frequência ($\times 10^{14}$ Hertz)	4,5	5,3
V (Volts)	1,8	2,1
Constante de Planck ($\times 10^{-34}$ J.s)	6,4	6,4

ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS

Os recursos apresentados neste trabalho envolvem basicamente dois experimentos, um virtual e outro real; através dos quais podemos compreender conceitos importantes associados a descoberta do Efeito Fotoelétrico, bem como determinar o valor da constante de Planck.

Experimentos virtuais, quando bem orientados, podem ser instrumentos muito úteis para o desenvolvimento de conceitos físicos, principalmente em áreas em que a física experimental encontra sérios limites para atuação.

No entanto, é importante salientar, que os resultados obtidos através de simulações computacionais são provenientes de uma estrutura previamente programada e, portanto atendem perfeitamente as expectativas frente ao modelo teórico estabelecido. Já a física experimental traz ao cientista a realidade dos "fatos" e por muitas vezes modelos teóricos são elaborados na tentativa de justificar estas observações experimentais. O trabalho experimental é portanto desafiador e não pode ser comparado em seus resultados, àqueles evidenciados em experimentos virtuais, visto serem de origens inteiramente distintas.

No entanto, é natural que se questione o fato de, por exemplo ter-se valores tão distintos para a constante de Planck quanto os apresentados nestes dois experimentos propostos.

Para analisar esta discrepância, temos que retomar o processo experimental proposto. Neste processo a constante de Planck é obtida a partir do valor de tensão necessária para acender um led comercial de uma dada cor. Este valor de tensão, vezes a carga do elétron é igual a energia da radiação emitida pelo semiconductor.

Na análise espectral dos leds comerciais, verifica-se facilmente a existência de uma banda de emissão com extensão de 200 à 500 Angstroms o que conduz a uma indeterminação no valor de tensão para acendimento. Este é por exemplo, um dos limites impostos pela técnica apresentada.

Não podemos deixar de dar algumas dicas importantes caso você queira desenvolver este experimento:

- 1) Utilizamos para a determinação da constante de Planck leds produzidos pela Radio Schak e cujos valores de frequência são conhecidos, e deste modo os erros experimentais introduzidos pela análise espectral não foram considerados. Se no entanto este valor não for conhecido, é aconselhável que antes de iniciar a medida de tensão de threshold, seja determinado o espectro de emissão correspondente a cada um dos leds, de modo a se certificar de sua largura espectral.
- 2) Os leds mais indicados, são aqueles de encapsulamento transparente, que permitem uma melhor análise espectral.

Contribuições para a prática pedagógica

Os valores experimentalmente obtidos para a constante de Planck, embora limitados pela técnica utilizada ainda estão muito distantes daqueles que podem ser adquiridos através de instrumentos de alta precisão quanto os produzidos empresas especializadas como Phywe, Leybold, Pasco e outras internacionalmente bem conhecidas.

No entanto, há de se considerar a ordem de grandeza e as dimensões do universo que estamos adentrando a partir destes resultados. Com este procedimento o aluno de Ensino Médio não estará apenas anotando o valor de uma grandeza tão importante quanto a constante de Planck, mas sim executando um experimento, tecnicamente muito simples, mas rico em conceitos e aplicações tecnológicas. A nosso ver, esta atitude, já vem contribuir para uma desmistificação do papel de constantes físicas, que por muitas vezes parecem surgir nas teorias por encanto ou magia.

Outro ponto muito importante, contido neste trabalho é a apresentação de uma proposta de execução de um trabalho coletivo, envolvendo professores de Matemática, Física e Filosofia, apontando alternativas para uma prática docente interligada e sobretudo contextualizada.

O trabalho envolvendo *filosofia* sem dúvida encontrará, aqui, uma questão crucial. Como já apontamos anteriormente, a *dualidade onda-partícula* representou um entrave para o pensamento humano num determinado momento. Ocorre que, desde o momento que costuma-se denominar “revolução científica” - na física, assim como nas demais ciências e áreas do conhecimento -, o raciocínio humano vem seguindo, um encadeamento racional, não somente nos processos dedutivos e indutivos, mas também na sua formalização discursiva. A razão sempre tratou de organizar a realidade e o pensamento a fim de que ambos se tornassem compreensíveis. Então, os próprios modelos envolvendo a natureza da luz tiveram que ser pensados e definidos a partir de concepções que não contrariassem o que se considerava racional. E a razão sempre seguiu regras ou princípios, os quais são observados até mesmo por quem não os conhece diretamente. Assim, no momento em que se descobre essa dualidade, um dos princípios racionais é questionado seriamente.

São quatro os princípios racionais e podemos denominá-los: princípio da *identidade*, da *não contradição*, do *terceiro excluído* e da *razão suficiente*.² (Diante de um tema como o efeito fotoelétrico e, em se tratando de uma incursão pela filosofia da ciência, nossos alunos podem até dirigir-se para um estudo mais detalhado de tais princípios.) A descoberta da dualidade onda-partícula vem se chocar contra o *princípio do terceiro excluído*, pois, ao afirmar que a luz comporta-se tanto como onda luminosa quanto como feixe de partículas descontínuas, estabelece uma terceira condição, ferindo a lei racional que busca um único caminho de explicação para um fenômeno da natureza.

A descoberta da dualidade onda-partícula representa, sem dúvida, um momento marcante para a filosofia, pois juntamente com a teoria quântica, vem desestabilizar os alicerces do pensamento racional, originando, até, aquele que se pode denominar como o quinto princípio da razão: o *princípio da indeterminação*. A razão tem na filosofia a sua área de estudos e discussões, mas é nas ciências que se manifesta no sentido de orientar o pensamento e organizar a natureza. Neste estudo, o tema parece mais do que apropriado e pode ser muito rico para nossos alunos, motivando uma discussão interdisciplinar bastante rica.

O ápice desta proposta se dá através da organização de um debate, envolvendo os alunos e professores em torno de um tema comum, onde cada um deve *apresentar de forma clara e objetiva o conhecimento apreendido, através de uma linguagem física adequada*.

Todos os recursos experimentais podem e devem ser explorados pelos alunos durante o debate de modo à, por exemplo explorar questões tão importantes quanto aquelas advindas de fontes de energia alternativa e a preservação do meio ambiente, dimensionando a capacidade crescente do homem em alterar as condições de vida no planeta, propiciada pelo avanço tecnológico.

Este é um tema que tem uma riqueza extraordinária de conteúdo e abordagem, talvez por esta razão ele seja e, sempre será uma fonte inesgotável de diferentes propostas educacionais, entendendo-se esta apresentada, como mais uma contribuição que nos possibilita adequarmos nossos planejamentos de curso em uma visão mais integrada e contextualizada de ensino.

REFERÊNCIAS

1. ALFONSO-GOLDFARB, Ana Maria. **O que é História da Ciência**. São Paulo, Brasiliense, 1995.
2. 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**; vol. 16 n.o 2 Agosto de 1999 pp. 154 a 168.
3. CAVALCANTE M. A: O Ensino de uma Nova Física e o Exercício da Cidadania, - **Revista Brasileira de Ensino de Física** vol.21 n.o 4, Dezembro 1999 - pp.550-551
4. CAVALCANTE, M. A e DI BENEDETTO A; Instrumentação em Física Moderna para o Ensino Médio: Uma nova técnica para a análise quantitativa de espectros.

² O *princípio da identidade* possui um enunciado que se constitui na própria condição do pensamento: “*A é A*” ou “*O que é, é*”; por esse princípio, as coisas ficam definidas para que possam ser objeto de análise. O *princípio da não contradição* garante que, se “*A é x*”, é impossível que “*A seja não x*”; sem esse princípio, o da *identidade* não funciona. O *princípio do terceiro excluído* diz que “*Ou A é x ou é y, não havendo uma terceira possibilidade*”; trata-se da definição para um dilema; exemplo: “*Ou este homem é Sócrates, ou não é Sócrates*”. O *princípio da razão suficiente* ou da *causalidade* afirma que tudo o que existe tem um motivo para existir.

- Revista Brasileira de Ensino de Física** vol.21 n.o 4, Setembro de 1999 pp.437 a 446.
5. CHALMERS, A. **O que é ciência, afinal?** São Paulo, Brasiliense, 2000.
 6. CHAUI, M. **Convite à Filosofia.** São Paulo, Ática, 1997.
 7. CHRISTIAN Noldeke: Compact disc diffraction. **Phys. Teach.**, Vol. 28, No. 7, October 1990 Pages 484 – 485.
 8. COLUSSI C. V; CANSIAN M. A “Rede de difração holográfica: Uma opção eficiente de baixo custo” – **Revista Brasileira de Ensino da Física**, vol. 17, n. 3 (1995).
 9. CORNWALL M. G., **Phys. Educ.**28, 1993, p.12
 10. DESCARTES, R. **Discurso sobre o método.** São Paulo, Hemus, 1978.
 11. EINSTEIN, A. & INFELD, L. **A evolução da física.** Rio de Janeiro, Zahar, a. 1980.
 12. FRANK G. Karioris Television display of diffraction and interference phenomena. **Phys. Teach.**, Vol. 14, No. 8, November 1976 Pages 504 – 506
 13. HAYM Kruglak: Diffraction demonstration with a compact disc. **Phys. Teach.**, vol. 31, No. 2, February 1993 Pages 104 – 104.
 14. HEISEMBERG, W. **Física e Filosofia.** Brasília. Ed.UNB, 1987
 15. JAMES E. Ketler The compact disk as a diffraction grating. **Am. J. Phys.**, Vol. 59, No. 4, April 1991 Pages 367 – 368.
 16. KALINOWSKI, H.J. GARCIA, N. M. D. “Uma alternativa econômica para rede de difração no laboratório de ensino”- **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, n.7, vol. 1, páginas 64 à 72 (1990).
 17. KHUN, T. **A estrutura das revoluções científicas.** São Paulo. Perspectiva, 1992.
 18. MACHADO, N. **Matemática e Realidade.** São Paulo, Cortez, 1997.
 19. NEWTON, I. **Principia.** São Paulo, EDUSP/Nova Stella, 1990.
 20. **PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS PARA O ENSINO MÉDIO** – Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias.Coordenador da área – Prof. Dr. Luiz Carlos de Menezes.