

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENSINO DE FÍSICA

FREDERICO FERREIRA FREITAS

**O Uso da Plataforma PhET para o Ensino do Efeito  
Fotoelétrico**

2017

## Apresentação

Caro (a) Professor (a):

Iniciei minha carreira na docência no ano de 2006, ainda como estudante de graduação do curso de Física da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Inicialmente lecionando igual aos meus professores que sempre critiquei; utilizando apenas do quadro-negro e giz para ensinar Física. Lecionei para alunos do ensino médio e da Educação de Jovens e Adultos (EJA).

Em 2013, lecionando para alunos do 1º ano do ensino médio de uma escola estadual de uma cidade do interior de Minas Gerais observei que os alunos utilizavam os computadores, apenas para a realização de avaliações do Estado, como o Programa de Avaliação da Aprendizagem Escolar (PAAE). Foi neste momento que percebi que o computador, presente na maioria das escolas, poderia me auxiliar nas demonstrações e reproduções de fenômenos físicos, com o auxílio de *softwares* disponíveis na *web*. Em 2014, com a oportunidade de cursar o Mestrado Profissional em Ensino de Ciências, área de concentração Ensino de Física, da Universidade Federal de Ouro Preto, acreditei em um projeto, cujo o intuito era utilizar as simulações computacionais na aprendizagem de Física no ensino médio.

Esse Produto Educacional é resultado da pesquisa intitulada “UTILIZAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO (TI’s) PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO”, realizada na Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Esse produto tem uma sequência didática baseada nos três momentos pedagógicos (3 MP’s), propostos por Delizoicov e Angotti (1994), que consiste em uma dinâmica dividida em:

**Problematização Inicial:** Neste primeiro momento, o professor apresenta aos alunos questões e/ou situações as quais eles conhecem ou vivenciam, mas não dispõem de conhecimentos científicos suficientes, para que possam interpretá-las de forma adequada. Os alunos devem ser questionados, para que possam expor seus conhecimentos prévios sobre a questão e/ou situação problema. A partir destas situações reais, o professor deve questionar os alunos, instigando-os de maneira constante. Tem-se como objetivo a problematização inicial na concepção freiriana, a preparação do conceito científico que será abordado posteriormente. Assim, pretende-se mostrar ao

aluno, a necessidade de outros conhecimentos para que ocorra a compreensão do problema.

**Organização do Conhecimento:** Nesse segundo momento, por meio da orientação do professor, se faz necessária a compreensão da Problematização Inicial, que é estudado de forma sistemática com a orientação do professor. Serão desenvolvidas definições, conceitos e relações. O conteúdo é programado e preparado para que o aluno aprenda de forma a, de um lado, perceber a existência de outras visões e explicações para as situações e os fenômenos problematizados, e, de outro, comparar esse conhecimento ao seu, para utilizá-lo para melhor interpretar aqueles fenômenos e situações. Neste momento, o professor pode utilizar várias técnicas, como: vídeos, textos didáticos, simulações, atividades experimentais, entre outros.

**Aplicação do Conhecimento:** Neste terceiro momento, tem-se o intuito de abordar de maneira sistemática, o conhecimento que vem sendo apresentado pelo professor e colegas, e incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto a questão e/ou situações iniciais ou outras que inicialmente não faziam parte ou não estavam ligadas ao problema inicial. Entretanto, pode ser explicado ou compreendido pelo mesmo conhecimento.

Assim, os três momentos pedagógicos foram incorporados neste trabalho, com o intuito de trazer o conteúdo de estudo em questão, relacionando-o com o cotidiano do aluno.

## **1. A literatura sobre o tema**

O Ensino de Física nos últimos anos vem sendo muito discutido por profissionais da área e muitas ações têm sido propostas com o objetivo de melhorar sua qualidade. Muitas dessas ações visam superar limitações das metodologias consideradas tradicionais que se pautam em exercícios de lápis e papel e exposição apenas pelo professores (GALIAZZI et al., 2001). Essas metodologias são consideradas ultrapassadas e pouco motivadoras. O uso dessas metodologias geram aulas de Física que acabam se resumindo em aplicação de fórmulas e memorização, levando o aluno a não relacionar os conceitos expostos a fatores que ocorrem em seu cotidiano, dificultando seu aprendizado (PIRES; VEIT, 2006). Outro problema observado está na carga horária das aulas de Física que vem sofrendo uma redução significativa.

Uma das possibilidades para superar esses problemas está relacionada à utilização de recursos computacionais, cada vez mais presente em nossa sociedade. Afinal, os estudantes desde cedo demonstram interesse e domínio sobre os recursos tecnológicos e a utilização da informática associada à internet deve favorecer na formação de conceitos pouco compreendidos (ANDRADE, 2010). Para tanto, a escola ainda precisa repensar a sua relação com os meios de comunicação, fazendo com que esses recursos trabalhem a seu favor. Por meio dos meios de comunicação é repassada a comunidade informações e conhecimentos com predomínio da forma lúdica e nessa tangente a escola pode utilizar desses recursos como ponto de partida para motivar seus estudantes.

Nesse sentido, os professores podem introduzir as tecnologias de informação (TI's) de forma a possibilitar um Ensino de Física mais eficiente, ou seja, mais eficaz. Destaca-se que a inserção das TI's está de acordo com a composição do ensino médio brasileiro, que a partir da promulgação da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) de 1996, regulamentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação foram criados parâmetros que passaram a regulamentar a definição geral dada na LDBEN, denominados Parâmetros Curriculares Nacionais, os chamados PCNs (WEBBER, 2006). Os PCN's tem como base difundir e orientar os professores quanto aos princípios da reforma curricular na busca de novos objetivos e metodologias para o ensino. Assim, a inserção das TI's deve proporcionar aos alunos uma maior interação e habilidades na busca e construção do conhecimento científico. Dentre as habilidades, o aluno do ensino médio deverá compreender o efeito

fotoelétrico e suas aplicações. Ele deve conhecer os conceitos de fóton e quantum, além de saber calcular a energia de um quantum e saber resolver problemas que envolvam o efeito fotoelétrico.

Optamos pela escolha da plataforma PhET, em virtude desse recurso computacional já nos oferecer um simulador sobre o conteúdo de Efeito Fotoelétrico, assunto presente na Física Moderna mas pouco abordado no ensino médio. Este produto busca auxiliar os professores de Física a trabalhar este conceito proposto nos livros didáticos apenas de forma conceitual, por meio de uma abordagem experimental com o uso de simulação.

## **2. Física Moderna**

Atualmente, nos deparamos com aparelhos cada vez mais modernos e sofisticados que são utilizados nas mais diversas áreas, tendo como princípio de funcionamento a Física Moderna. Equipamentos de raios-x, ultrassom, laser, dispositivos e sensores eletrônicos, entre outros aparelhos são exemplos de aplicações em Física Moderna.

Segundo Ostermann e Moreira (2000), existem algumas razões para que se inclua o Ensino de Física Moderna no ensino médio nas escolas secundárias. Essas razões partem do despertar da curiosidade dos alunos e o reconhecimento da Física como um empreendimento humano, até o ensino dos temas atuais de Física de maneira a contribuir para uma visão correta desta ciência, superando a visão linear do desenvolvimento científico, contidos nos livros didáticos, e até mesmo presente nas aulas de física.

A inserção dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) deve ser realizada com cautela para que os próprios professores que ministram a disciplina tenham maior capacitação e entendimento, vencendo certas barreiras e receios ao abordarem este tema. Tal proposição da necessidade do envolvimento deste tema no ensino atual é descrita também nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs):

Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais (BRASIL, 1999, p. 209).

Assim, os PCNs, e posteriormente, os PCNs+, deram uma forma estrutural ao ensino e aos aspectos realmente importantes na educação básica. Procurando difundir e orientar os professores sobre os princípios da reforma curricular na procura por novas metodologias para o ensino. Assim, de acordo com esses parâmetros, “ a formação do aluno deve ter como objetivo principal adquirir conhecimentos básicos, a preparação científica e a capacidade de utilizar as diferentes tecnologias relativas às áreas de atuação” (BRASIL,1999,p.15).

### **3. Efeito Fotoelétrico**

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) discutida neste trabalho foi observada no início do século XX, quando pesquisadores notaram a existência de um novo fenômeno, que mais tarde foi chamado de Efeito Fotoelétrico.

No final do século XIX, Heinrich Hertz realizou experiências que confirmaram a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz e a existência de ondas eletromagnéticas. Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorria com uma maior facilidade ao incidir luz ultravioleta sobre eles (EISBERG e RESNICK, 1979).

Lenard, assistente de Hertz, trabalhou um bom tempo com raios catódicos, rendendo-lhe o Prêmio Nobel de Física em 1905. Em 1902, Lenard retoma o trabalho de Hertz, já falecido, e estuda a relação da energia dos fotoelétrons emitidos com a intensidade da luz. Entretanto, a explicação para este fenômeno realizado experimentalmente em 1905 por Lenard ocorreu quando o jovem cientista de 26 anos, Albert Einstein, deduziu que “a radiação eletromagnética também é quantizada e que um *quantum* de radiação é denominado fóton” (PORTO, 2011).

O efeito fotoelétrico explicado por Albert Einstein em 1905, é considerado um dos marcos do nascimento da física quântica. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons, comumente materiais metálicos (condutores e semicondutores), que quando atingidos por radiação eletromagnética (geralmente a luz) com determinada frequência, podem ser excitados. O fenômeno depende especialmente do material, e, é observado quando a luz incide sobre uma placa metálica do material, arrancando elétrons desta placa, desde que a energia que incide sobre a superfície seja suficiente para seu estímulo. A partir da excitação, esses fotoelétrons podem ser conduzidos num circuito elétrico, gerando um movimento ordenado de cargas. O fenômeno de liberação de fótons, depende da energia mínima aplicada em forma de radiação eletromagnética para vencer a função trabalho do material, conforme pode ser observado na Figura 1.

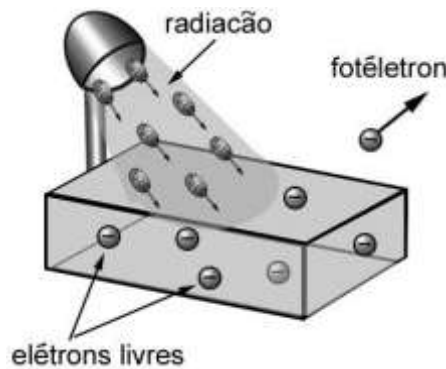


Figura 1: Efeito Fotoelétrico.

Fonte: <http://modeloatomico3.blogspot.com/2011/04/27/efeito-fotoeletrico.html>.

Max Planck chamou os pequenos “pacotes de energia” de *quantum* (seu plural é *quanta*), esse termo veio do latim e significa quantidade, que representa uma unidade mínima, indivisível. O *quantum* ou fóton (Figura 1) é a unidade de energia proporcional à frequência de radiação que deve excitar os elétrons da superfície do material. A partir deste conceito de *quanta* surgiu a denominação da teoria quântica.

Em seu estudo, Einstein propôs que um fóton com frequência  $\nu$  seria absorvido ou emitido pela matéria apenas para alguns valores discretos de energia. Um fóton é uma partícula que possui momento e energia, mas não possui massa (EISBERG e RESNICK, 1979). Assim, considerando a conservação da energia em um sistema, a energia emitida pelo fóton é determinada pela diferença entre os níveis de energia  $E_{n+1} - E_n$  do oscilador e é dada por:

$$E_{n+1} - E_n = (n+1)h\nu - nh\nu = h\nu \quad (1)$$

$$\text{Considerando, } c = \lambda\nu \quad (2)$$

Assim, substituindo (2) em (1), temos:

$$E_{\text{fóton}} = E_{n+1} - E_n = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

onde  $h$  é a constante de Planck, cujo valor é  $6,63 \times 10^{-34}$  Js.

Em materiais metálicos os elétrons mais externos (menor energia de ligação com o núcleo) podem se mover mais facilmente de um átomo para outro. Quando ocorre a interação de um elétron com um fóton, com uma energia suficientemente alta para arrancá-lo, ele é expulso do metal. O elétron expulso, denominado fotoelétrico, emergirá com uma energia cinética máxima (PORTO, 2011).

$$k_{\max} = h\nu - \phi \quad (4)$$

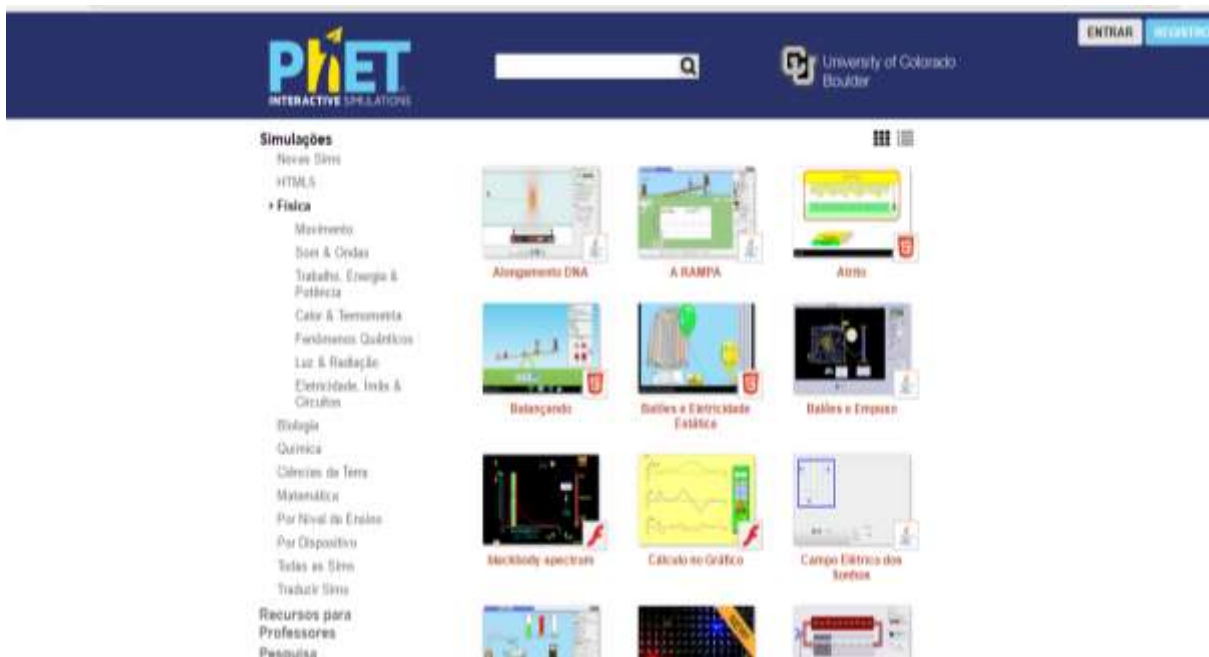
Na expressão (4),  $\phi$  é a energia característica do metal denominada função trabalho, que é a energia mínima para um elétron atravessar a superfície do metal e escapar das forças atrativas que o mantêm preso ao metal. Um elétron só será liberado se a sua energia cinética for superior à função trabalho (EISBERG e RESNICK, 1979). Quando a energia cinética máxima do fotoelétron for nula, pela expressão (4), obtemos o valor para a frequência de corte:  $\nu = \frac{\phi}{h}$ , que é a frequência limite mínima para ocorrência do efeito fotoelétrico.

A expressão proposta matematicamente por Einstein,  $k_{\max} = h\nu - \phi$  foi verificada experimentalmente por Robert Millikan que determinou a carga do elétron e considerava a teoria de Einstein uma afronta à teoria ondulatória da luz (PORTO, 2011). Apesar de discutido em 1905, somente em 1921 o conceito deduzido por Einstein foi agraciado pelo Prêmio Nobel de Física, o que mostra a dificuldade da comunidade científica em aceitar as explicações para a nova ciência moderna que despertava aos olhos dos pesquisadores.

#### **4. Plataforma PhET**

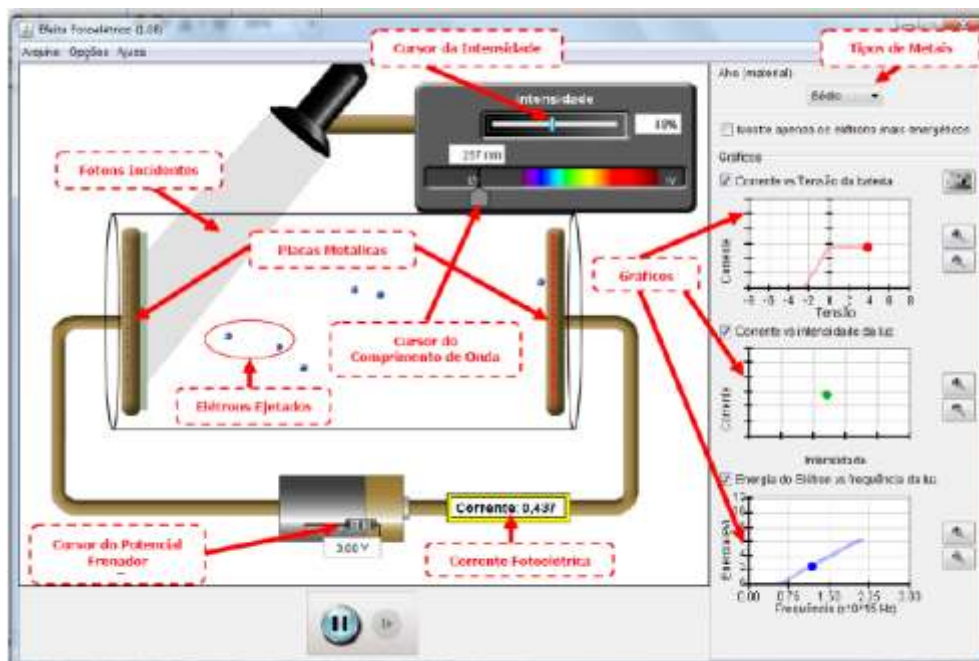
O simulador computacional escolhido para a realização da oficina na atividade virtual foi o Interactive Simulations (PHET, 2010), disponível no site do Physics Education Technology (PhET). Ele faz parte de um projeto de simulações da Universidade do Colorado, nos Estados Unidos, como projeto de um laboratório virtual para disciplinas como física, química e biologia. Há várias simulações nos mais diversos idiomas e podem ser acessados “on-line” na rede mundial de computadores (PhET) ou em JAVA quando salvo em computadores e acessados em “off-line”.





**Figura 2:** Imagem da página principal do site do PhET.

A seguir apresentamos as variáveis que a simulação para o estudo do efeito fotoelétrico oferece.



**Figura 3:** Simulador do PhET utilizado na oficina sobre o efeito fotoelétrico

- **Placas de Metais:** a janela nos permite utilizar os seguintes tipos de placas de metais: sódio, zinco, cobre, platina, cálcio e magnésio.
- **Cursor da Intensidade da Luz:** permite o ajuste da intensidade da luz emitida pela fonte da radiação eletromagnética podendo ainda, analisar como números de fótons que incidem na placa metálica.
- **Fótons Incidentes:** reproduz o feixe de fótons e sua respectiva intensidade.

- **Cursor do comprimento de onda:** ajusta o valor do comprimento de onda incidente, e ainda faz uma referência à frequência das ondas eletromagnéticas que incidem na placa metálica.
- **Placas Metálicas:** são as placas de um certo material metálico a ser utilizado, podendo ser alterando entre as seis opções disponíveis para analisar o seu comportamento.
- **Elétrons ejetados:** são os elétrons arrancados das placas metálicas, em movimento, em decorrência do efeito fotoelétrico para tal incidência de um comprimento de onda.
- **Cursor do potencial frenador:** permite o ajuste dos valores do potencial da bateria, proporcionando a cada comprimento de onda incidente em uma determinada placa metálica, caso se tenha a ocorrência do efeito fotoelétrico.
- **Corrente fotoelétrica:** fornece o número de elétrons que circula o circuito elétrico, proporcionando a ocorrência do efeito fotoelétrico, causado pela incidência eletromagnética numa placa metálica.
- **Gráficos:** existem três tipos de gráficos que podem ser utilizados no simulador:
- **Corrente x Tensão na bateria:** mostra o comportamento do movimento dos elétrons ejetados em relação ao potencial da bateria, auxiliando na análise do potencial frenador.
- **Corrente x Intensidade:** mostra o comportamento da corrente fotoelétrica em relação à intensidade da onda eletromagnética incidente, auxiliando na análise do número de elétrons incidentes.
- **Energia do elétron x Frequência da luz:** mostra o comportamento da equação de Einstein para o efeito fotoelétrico, auxiliando na análise interpretativa da frequência de corte e na função trabalho do metal.

## 5. Sequência de Atividades

Prezado professor, para iniciar essa sequência, temos o momento de problematização. Segundo a abordagem dos três momentos pedagógicos, essa etapa consiste na fase em que o professor deverá apresentar aos alunos questões e/ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam, para as quais, os mesmos não possuem de conhecimentos científicos suficientes para a interpretação total ou correta.

Para uma problematização sobre o efeito fotoelétrico, foram pensadas em questões que estão relacionadas ao cotidiano, com o intuito de se observar os conhecimentos que os alunos possuem sobre a natureza da luz, sobre o funcionamento do sistema de iluminação pública e o funcionamento das portas automáticas, que abrem e fecham sozinhas.

### **Atividade 1:**

Objetivo: Despertar a curiosidade e levantar conhecimentos prévios dos alunos sobre fenômenos de radiação eletromagnética.

Responda as perguntas abaixo:

1) Defina a luz.

---

---

---

---

---

2) Você já deve ter observado que ao caminhar pela rua, nota-se que a iluminação pública ao amanhecer se apagam e ao anoitecer se acendem sozinhas. O que está por trás do funcionamento da iluminação pública?

---

---

---

---

---

- 3) Existem portas de estabelecimentos comerciais que se abrem e fecham quando há a aproximação de pessoas. Como você explica a ocorrência de tal fenômeno?

---

---

---

---

---

Para a segunda etapa, que chamaremos de organização do conhecimento, na qual sob a orientação do professor, deverá ocorrer o desenvolvimento das definições, conceitos e relações para que os alunos possam perceber as explicações sobre as situações e fenômenos problematizados, podendo comparar o conhecimento adquirido com o seu, para utilizar numa melhor interpretação das situações e fenômenos. Para isto, disponibilizamos um texto introdutório e alguns exercícios numéricos, que encontra-se a seguir.

### **Texto Introdutório sobre o Efeito Fotoelétrico**

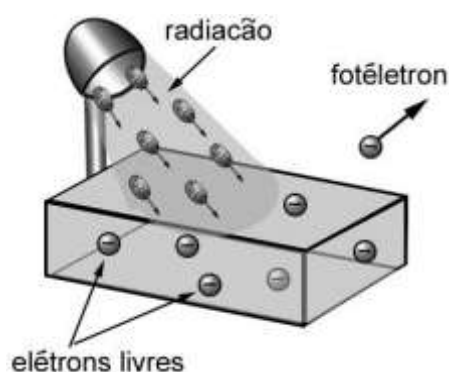
**Objetivo:** Familiarizar as aplicações do Efeito Fotoelétrico no cotidiano e compreender as equações que governam o acontecimento deste fenômeno.

### **O Efeito Fotoelétrico**

No final do século XIX, Hertz realizou experiências que confirmaram a teoria de Maxwell sobre a propagação da luz e a existência de ondas eletromagnéticas. Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorria com uma maior facilidade ao incidir luz ultravioleta sobre eles (EISBERG e RESNICK, 1979).

Lenard, assistente de Hertz, trabalhou um bom tempo com raios catódicos, rendendo-lhe o Prêmio Nobel de Física em 1905. Em 1902, Lenard retoma o trabalho de Hertz, já falecido, e estuda a relação da energia dos fotoelétrons emitidos com a intensidade da luz. Entretanto, a explicação para este fenômeno realizado experimentalmente em 1905 por Lenard ocorreu quando o jovem cientista de 26 anos, Albert Einstein, deduziu que a radiação eletromagnética também é quantizada e que um *quantum* de radiação é denominado fóton (PORTO, 2011).

O efeito fotoelétrico explicado por Albert Einstein em 1905, é considerado um dos marcos do nascimento da física quântica. O efeito fotoelétrico consiste na emissão de elétrons, comumente materiais metálicos (condutores e semicondutores), que quando atingidos por radiação eletromagnética (geralmente a luz) com determinada frequência, podem ser excitados. O fenômeno depende especialmente do material, e, é observado quando a luz incide sobre uma placa metálica do material, arrancando elétrons desta placa, desde que a energia que incide sobre a superfície seja suficiente para seu estímulo. A partir da excitação, esses fotoelétrons podem ser conduzidos num circuito elétrico, gerando um movimento ordenado de cargas. O fenômeno de liberação de fótons, depende da energia mínima aplicada em forma de radiação eletromagnética para vencer a função trabalho do material, conforme pode ser observado na Figura 1.



**Figura 4:** Efeito fotoelétrico.

Max Planck chamou os pequenos “pacotes de energia” de *quantum* (seu plural é *quanta*), esse termo veio do latim e significa quantidade, que representa uma unidade mínima, indivisível. O *quantum* ou fóton (da Figura 1) é a unidade de energia proporcional à frequência de radiação que deve excitar os elétrons da superfície. A partir deste conceito de *quanta* surgiu a denominação de teoria quântica.

Em seu estudo, Einstein propôs que um fóton com frequência  $\nu$  seria absorvido ou emitido pela matéria apenas para alguns valores discretos de energia. Um fóton é uma partícula que possui momento e energia, mas não possui massa (EISBERG e RESNICK, 1979). Assim, considerando a conservação da energia em um sistema, a energia emitida pelo fóton é determinada pela diferença entre os níveis de energia  $E_{n+1} - E_n$  do oscilador e é dada por:

$$E_{n+1} - E_n = (n+1)h\nu - nh\nu = h\nu \quad (1)$$

$$\text{Considerando, } c = \lambda\nu \quad (2)$$

Assim, substituindo (2) em (1), temos:

$$E_{\text{fóton}} = E_{n+1} - E_n = \frac{hc}{\lambda} \quad (3)$$

onde  $h$  é a constante de Planck, cujo valor é  $6,63 \times 10^{-34}$  Js.

Em materiais metálicos os elétrons mais externos (menor energia de ligação com o núcleo) podem se mover mais facilmente de um átomo para outro. Quando ocorre a interação de um elétron com um fóton, com uma energia suficientemente alta para arrancá-lo, ele é expulso do metal. O elétron expulso, denominado fotoelétron, emergirá com uma energia cinética máxima (PORTO, 2011).

$$k_{\text{max}} = h\nu - \phi \quad (4)$$

Na expressão (4),  $\phi$  é a energia característica do metal denominada função trabalho, que é a energia mínima para um elétron atravessar a superfície do metal e escapar das forças atrativas que o mantêm preso ao metal. Um elétron só será liberado se a sua energia cinética for superior à função trabalho (EISBERG e RESNICK, 1979). Quando a energia cinética máxima do fotoelétron for nula, pela expressão (4), obtemos o valor para a frequência de corte:  $\nu = \frac{\phi}{h}$ , que é a frequência limite mínima para ocorrência do efeito fotoelétrico.

A expressão proposta matematicamente por Einstein,  $k_{\text{max}} = h\nu - \phi$  foi verificada experimentalmente por Robert Millikan que determinou a carga do elétron e considerava a teoria de Einstein uma afronta à teoria ondulatória da luz (PORTO, 2011). Apesar de discutido em 1905, somente em 1921 o conceito deduzido por Einstein foi agraciado pelo Prêmio Nobel de Física, o que mostra a dificuldade da comunidade científica em aceitar as explicações para a nova ciência moderna que despertava aos olhos dos pesquisadores.

### **Atividade 2:** Resolver os problemas abaixo

Objetivo: Familiarizar com as equações matemáticas para o Efeito Fotoelétrico.

- 1) a) A energia necessária para que um elétron seja removido do sódio é 2,3 eV. O sódio apresenta efeito fotoelétrico para a luz amarela, com  $\lambda = 5890 \text{ \AA}$  (angstrom)? b) Qual o comprimento de onda de corte para a emissão fotoelétrica do sódio?
- 2) Numa experiência fotoelétrica aonde se usa a luz monocromática e um fotocadoto de sódio, encontramos um potencial de corte de 1,85 V para  $\lambda = 3000 \text{ \AA}$  (angstrom), e de 0,82 V para  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$  (angstrom). De acordo com os dados disponíveis, encontre a) o valor da constante de Planck, b) a função trabalho do sódio em elétrons-volt, e c) o comprimento de onda limite para o sódio.
- 3) Os postes de iluminação pública contem lâmpadas ligadas a um circuito que possui uma célula fotossensível. Ao anoitecer, a corrente produzida pelo Efeito Fotoelétrico é encerrada, acionando outro circuito que irá acender as luzes que iluminarão as ruas. Considerando que a luz ultravioleta provoque na célula fotossensível o Efeito Fotoelétrico e que tenha uma frequência  $\nu = 8 \times 10^{14} \text{ Hz}$ , determine:
  - a) O valor da energia E de cada fóton em Joules;
  - b) Se o trabalho ( $\phi$ ) necessário para arrancar o elétron da célula fotossensível é de  $2,3 \times 10^{-19} \text{ J}$ , encontre o valor da energia cinética com que o elétron foi ejetado.

Para a terceira e última etapa, que chamaremos de aplicação do conhecimento, deve-se abordar o conhecimento que o aluno vem incorporando, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinam o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas a problematização inicial, mas que podem ser explicadas pelo mesmo conhecimento. Para esta etapa disponibilizamos um roteiro experimental para utilizar o simulador sobre o Efeito Fotoelétrico da Plataforma PhET, da Universidade do Colorado (EUA).

### **Atividade 3:** Simulação do Efeito Fotoelétrico

Objetivo: Verificar através do simulador da plataforma PhET, os parâmetros que podem ser variados para a ocorrência do Efeito Fotoelétrico.

Após a familiarização com o simulados da plataforma PhET, preencha as tabelas abaixo:

**Tabela1: Relação do material com o comprimento de onda para a intensidade de 30%.**

<b>Metal</b>	<b>600nm</b>	<b>400nm</b>	<b>300nm</b>	<b>100nm</b>
Cálcio				
Cobre				
Sódio				
Platina				

**Tabela2: Relação do material com o comprimento de onda para a intensidade de 80%.**

<b>Metal</b>	<b>600nm</b>	<b>400nm</b>	<b>300nm</b>	<b>100nm</b>
Cálcio				
Cobre				
Sódio				
Platina				

Com base nas tabelas acima, responda:

- Variando as intensidades da luz o que você observou em relação ao início do efeito fotoelétrico?
- O que você observou em relação às quantidades dos elétrons ejetados?
- Com base nos dados das tabelas, o que você pode concluir sobre o início do efeito fotoelétrico para diferentes materiais?
- Qual a frequência mínima para que ocorra a ejeção de elétrons para o alumínio?  
E para a platina?
- Agora, faça um gráfico de Energia pelo inverso do comprimento de onda ( $E$  versus  $1/\lambda$ ), e determine o valor da constante de Planck.