

## **Obtenção da Constante de Planck através de objeto virtual de aprendizagem: uma proposta didática de ensino**

Danilo Almeida Souza<sup>1</sup>

Thiago Nascimento Barbosa<sup>2</sup>

---

### **RESUMO**

Nesse artigo apresentaremos uma proposta didática para estudo de física moderna através da utilização de objeto virtual de aprendizagem. O efeito fotoelétrico, unido ao processo da radiação do corpo negro, se constituiu num dos principais fenômenos que fomentaram a discussão a cerca da quantização da energia. Tendo em vista que esses assuntos são vagamente explorados na educação básica, o baixo acervo de experimentos de baixo custo existente e, ainda, a grande importância que estes detêm em diversas aplicações tecnológicas, pretendemos discutir as principais características do efeito fotoelétrico, desde sua produção até suas características que impuseram nos físicos da época uma nova maneira de pensar; somado a isso vamos obter por simulação computacional o valor constante de Planck, que tem um papel de extrema importância na física quântica.

**Palavras-chave:** Física moderna; efeito fotoelétrico; constante de Planck.

---

<sup>1</sup> Mestre em Física. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA. Contato: danilofisico@gmail.com/ danilos@ifba.edu.br.

<sup>2</sup> Mestre em Física. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA. Contato: thiagofisico@yahoo.com.br/ thiagonb@ifba.edu.br.

## INTRODUÇÃO

Para a maioria dos autores, as primeiras evidências experimentais do efeito fotoelétrico se deram no ano de 1887, pelo físico Heinrich Hertz, numa tentativa de verificação da teoria eletromagnética de Maxwell (ROCHA, 2002). Em consonância a este fato, surgiu uma série de questionamentos por parte de físicos e pensadores da época, uma vez que muitas das características observadas contradiziam aquilo que deveria ser esperado pela física clássica.

O efeito fotoelétrico pode ser entendido como o processo no qual acontece à emissão de elétrons por material metálico, quando neles é emitido luz. Hoje podemos perceber que fotocélulas (materiais que ao receber luz geram tensão elétrica) têm inúmeras aplicações, sendo à base de funcionamento para portas de shoppings que abrem e fecham sozinhas, controle remoto, sistemas de alarmes automáticos entre outras utilidades.

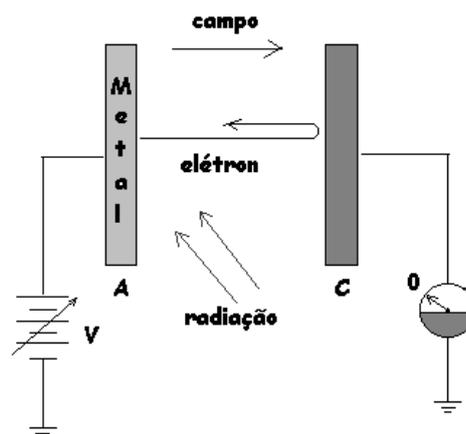
Embora sua primeira evidência se desse no final do século XIX, somente em 1905 com Albert Einstein houve uma explicação razoável para o fenômeno em questão. No seu artigo “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz” (EINSTEIN, 1905), Einstein explica o efeito fotoelétrico baseada numa extensão das ideias de Planck sobre quantização de energia, postulando que radiação eletromagnética de uma dada frequência consiste de *quanta* de energia (NUSSENZVEIG, 1998).

A hipótese de Einstein acerca do efeito fotoelétrico não foi bem recebida pela comunidade científica da época, uma vez que colocava em conflito ideias já consolidadas da física clássica, sobretudo sobre fenômenos ligados à interferência da luz, o que acabou ocasionando um reconhecimento tardio de seu trabalho. Somente após uma série de evidências experimentais, as quais fazem parte os trabalhos desenvolvidos por Millikan em 1915, o trabalho de Einstein começou a ganhar respeito, sendo o mesmo coroado no ano de 1921 com o prêmio Nobel de física pela teoria desenvolvida (ROCHA, 2002).

Retomamos na seção seguinte uma breve discussão acerca do efeito fotoelétrico, seguido de uma apresentação do aplicativo que será utilizado; por fim apresentamos uma proposta para utilização desse aplicativo em aula.

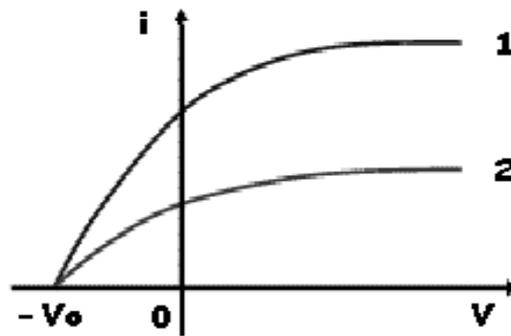
## O EFEITO FOTOELÉTRICO

Uma representação esquemática para análise do efeito fotoelétrico é apresentada na figura 01. Nela podemos verificar a presença de uma fonte de potencial variável, um amperímetro para registrar presença de corrente elétrica, e dois eletrodos, um coletor e outro emissor de elétrons. Quando este conjunto é colocado no escuro, naturalmente o amperímetro indica o valor zero. Se por outro lado, este for iluminado por radiação de uma dada frequência, o amperímetro passa a registrar um valor diferente de zero, em consequência do fluxo de carga elétrica ocorrido entre as duas placas (cabe salientar que o registro de corrente está associado à emissão de radiação cuja energia seja suficiente para que o elétron seja capturado pela outra placa).



**Figura 01-** Aparato experimental elaborado por Lenard para estudo do efeito fotoelétrico (GARCÍA, 2012).

A corrente estabelecida entre A e C depende além da intensidade da Luz usada, da ddp aplicada à fotocélula. Essa dependência pode ser sintetizada através do gráfico presente na figura 02.



**Figura 02-** Curvas características de uma fotocélula, onde especifica a intensidade da corrente em função do potencial elétrico (EISBERG; RESNICK, 1979).

A curva 1 indica a variação da corrente para uma luz com grande intensidade, enquanto a curva 2 indica a variação de corrente para uma luz com intensidade de pequena intensidade.

Note que para valores suficientemente grandes de  $V$  a intensidade da corrente atinge seu valor máximo e se estabiliza. Se por outro lado invertemos a polaridade da bateria, a intensidade da corrente elétrica diminui gradativamente atingindo seu valor nulo para  $V = -V_0$ . Como  $V_0$  é o valor mínimo para existência de corrente, este é chamado de potencial de freamento ou de corte.

Como discutido em PENTADO e TORRES (2005), a física clássica não é capaz de explicar o fato de nenhum fotoelétron ser observado se a radiação iluminante tiver uma frequência inferior a certo valor característico do material denominado frequência de corte  $f_0$  (Note que a existência de uma frequência mínima nos dá como consequência um comprimento de onda  $\lambda_0$  máximo). O resultado previsto pela física clássica era que, independente da frequência, sempre que se incidia luz sobre um metal, era possível aumentar a intensidade do feixe de modo a arrancar elétrons do material. Ainda esperaríamos que à medida que aumentássemos a intensidade da radiação incidente, isso se refletisse numa modificação da energia e por consequência na frequência de corte, o que de fato não acontece.

Einstein conseguiu uma descrição correta sobre o fenômeno postulando que cada fóton (nome utilizado na ideia de quantização, que sintetizava o termo pacote de energia) cede toda sua energia  $hf$  a um único elétron do metal, onde parte desta

era utilizada para vencer a energia de ligação entre o elétron e o átomo e a outra se convertia em energia cinética com a qual o elétron era emitido.

Esse conhecimento pode ser sintetizado através da equação 01:

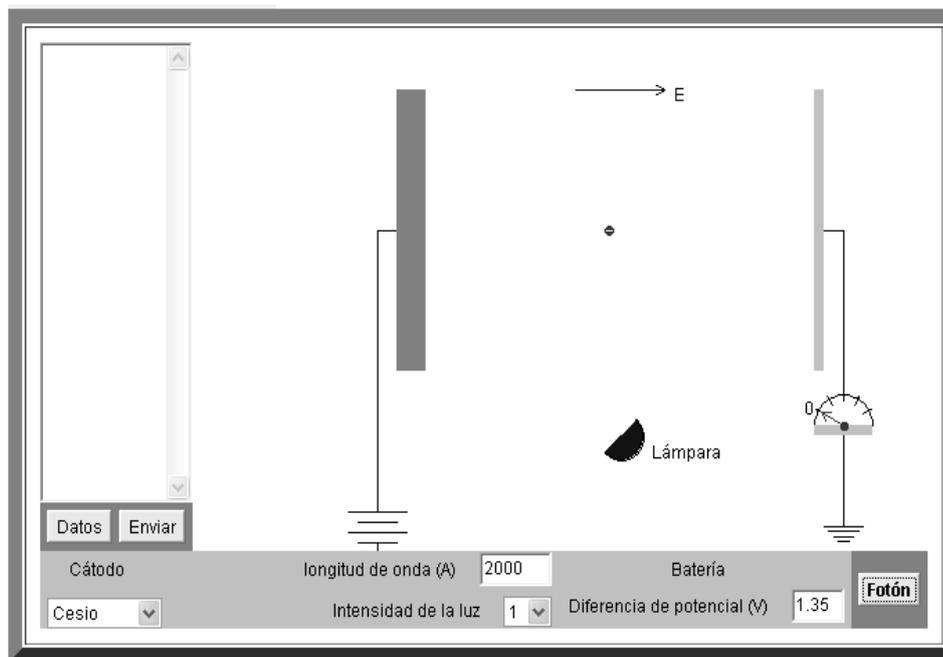
$$K = qV_0 = hf - W, \quad (01)$$

essa expressão constitui a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico e trata-se de uma aplicação da conservação de energia para o fenômeno em questão. A variável  $h$  representa a constante de Planck, cujo valor é dado por  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ,  $W$  a energia de ligação ou “função trabalho” do material e  $K$  a energia cinética com que o elétron é emitido; as demais grandezas obedecem à mesma simbologia descrita em parágrafos anteriores.

## PROPOSTA DIDÁTICA

O aplicativo que vamos usar faz parte de um conjunto de simulação de fenômenos físicos armazenados no site de GARCÍA (2012), ao qual o link para acesso está especificado na referência apresentada.

A aparência do aplicativo está como especificada na figura 03. Através desta ilustração é possível observar que o usuário tem algumas opções de manuseio, como escolher o material do cátodo (Césio, potássio antimônio, cálcio, tório e alumínio), o comprimento de onda, intensidade da luz e diferença de potencial.



**Figura 03-** Imagem do aplicativo utilizado (GARCÍA, 2012).

Acreditamos ser um processo de grande aprendizado que o aluno se ambiente com o aplicativo explorando seus diferentes recursos, inclusive obtendo conclusões sem a necessidade de um roteiro pré-determinado. Porém, uma vez que tópicos relacionados à física moderna sejam assuntos que comumente não são abordados nos currículos de física básica da maioria das escolas brasileiras, propomos um roteiro de atividade com recurso computacional que pode ser de grande valia para abordagem desse tema na educação básica.

Nossa proposta de roteiro de atividade prática com a utilização desse aplicativo é apresentada na seção seguinte. Logo em seguida fazemos uma breve discussão sobre as questões que achamos pertinentes trazer para abordagem.

## 1. Especificação da proposta de utilização do objeto virtual de aprendizagem

Apresentamos aqui uma proposta de roteiro para ser utilizado por professores da educação básica no que tange a discussão do efeito fotoelétrico. O desenvolvimento se baseia na teoria sobre o efeito fotoelétrico explorado em EISBERG e RESNICK (1979) e NUSSENZVEIG (1998).

Roteiro Proposto:

Procedimento

1. Escolha na guia do aplicativo um determinado material;
2. Fixe uma ddp (voltagem) e variando o comprimento de onda, tente obter para esse potencial a energia mínima suficiente no qual o elétron consegue atingir a outra extremidade. Anote os dados obtidos;
3. Repita o processo com uma nova voltagem, variando o comprimento de onda em 50Å para mais ou para menos, até que a nova energia seja obtida. Pode-se utilizar a tabela abaixo para anotar os dados:

	$\lambda$ (Å)	$f$ ( $10^{14}$ ) HZ	V (Volts)
01			
02			

Apêndices matemáticos

1. Ao trabalhar com física em escala atômica, são comuns algumas unidades de comprimento como o Å (angstrom) cuja equivalência é:  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ;
2. De modo semelhante utilizaremos a unidade de energia elétron volt (eV) onde  $1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$ .
3. Para preencher a coluna de frequência  $f$ , faça uso da relação  $c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$ , onde  $c$  é a velocidade da luz no vácuo e vale  $c = 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ .
4. Note que, utilizando a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico  $qV = hf - W$ , para os dois pontos que dispomos, é possível o cálculo da constante de Planck através da expressão seguinte:  $h = q \cdot \frac{V_2 - V_1}{f_2 - f_1}$ .

Resultados e Discussão

1. Alterar a intensidade da radiação mudaria os dados coletados?
2. Fazendo uso da expressão obtida no apêndice quatro, calcule a constante de Planck e compare com o valor apresentado.
3. Reescreva detalhadamente a passagem matemática utilizada no apêndice 4, para obter o valor de  $h$  a partir da equação de Einstein.

4. A existência de um limiar de frequência para um dado material foi verificado experimentalmente por Millikan em 1915. Sabendo que vale a equação de Einstein para o efeito fotoelétrico  $K = qV = hf - W$ , como seria possível o cálculo da frequência de corte? ( $K$  é a energia cinética do elétron emitido).
5. Calcule a frequência de corte para o material escolhido
6. *Vamos agora refinar nossos resultados:* O site que estamos utilizando, dispõe de uma ferramenta que, depois da coleta de dados, nos fornece uma constante " $a$ ", que a menos de um fator, nos dá a constante de Planck. Assim, você deverá repetir o processo, descrito anteriormente, levando em conta os requisitos:
  - Utilize pelo menos TRÊS metais distintos;
  - Pelo menos quatro pontos deverão ser coletados (comprimento de onda/potencial);
  - Preencher a tabela para cada material:

Metal	Comprimento de onda	Potencial
01		
02		
03		
04		

- Após essa coleta, calcular a constante de Planck, conforme instruções encontradas no site;
- Os gráficos encontrados deverão ser copiados com a função "Print Screen", para fazer parte do relatório;
7. A utilização de mais pontos (Primeiro utilizamos 02/ depois passamos a usar 04) melhora o valor encontrado para constante de Planck? Por quê? Compare os dados obtidos.

## 2. Discussão da proposta didática apresentada

A proposta didática apresentada foi elaborada levando em conta uma série de fatores que julgamos ser necessário para compreensão do efeito fotoelétrico além da utilização da maioria dos recursos que podem ser explorados no aplicativo.

Iniciamos com a apresentação de um procedimento constituído de 03 itens, onde o aluno após uma familiaridade deve efetuar uma coleta de dados, observado os critérios especificados. Em seguida apresentamos uma série de 04 apêndices matemáticos, cujo principal objetivo é diminuir a série de pré-requisitos que esta atividade pode exigir; o que pode ser suprimido pelo docente caso ache necessário.

As questões que são trazidas no item “Resultados e Discussão” merecem maior atenção e estão estruturadas de modo a otimizar a discussão acerca do efeito fotoelétrico. Iniciamos na questão 01 abordando a influência da quantidade de fótons emitidos e sua relação com os dados coletados. O estudante deve observar que a quantidade de fótons (intensidade da radiação) reflete apenas na quantidade de elétrons emitidos da placa, não interferindo no comprimento de onda e tensão coletadas para cálculo da constante de Planck, uma vez que a energia transferida pelo fóton não depende da intensidade, mas apenas da frequência.

No caso de utilizar o apêndice matemático anexado ao roteiro de atividade prática, o estudante calcula de imediato o valor da constante de Planck que está perguntado na questão 02.

Na questão 03, o desenvolvimento solicitado ao aluno, além de garantir o raciocínio lógico matemático, pode lhe direcionar a uma série de observações a cerca da equação usada como ponto de partida. É fácil ver que a equação (01), pode facilmente tomar a forma:

$$V_0 = \frac{h}{q} f - \frac{W}{q}. \quad (02)$$

É notável que  $V_0(f)$  nos dá uma função do primeiro grau, cujo coeficiente angular da reta é dado pela razão  $\frac{h}{q}$ , o que nos garante o cálculo da constante de Planck dispondo de pelo menos dois pontos. O que deverá ser feito pelo aluno para obtenção da equação apresentada no apêndice matemático 04.

Nas questões 04 e 05 queremos garantir que o aluno compreendeu o sentido da existência de uma frequência de corte, ou seja, o menor valor da frequência para existência do efeito fotoelétrico. De modo que isso acontece sempre que o elétron é ejetado com a mínima energia cinética possível.

Por fim as questões 06 e 07 nos trazem uma abordagem mais refinada para cálculo da constante de Planck fazendo uso de um aplicativo disponível na própria página onde o aplicativo é disponibilizado. A diferença principal desta abordagem se dá no fato de o aplicativo conseguir aproximar a reta que melhor descreve o conjunto de pontos coletados, o que nos garante dados mais consistentes na medida em que o número de pontos utilizados cresce.

## **CONCLUSÃO**

Alguns tópicos analisados em física são sobrecarregados de desenvolvimento teórico e nem sempre existe a possibilidade dos estudantes visualizarem tal fenômeno através de atividades experimentais. Seja pela sofisticação dos experimentos e conseqüentemente elevado custo, ou mesmo pela carência de tal ferramenta. Nesse contexto acreditamos que o objeto virtual de aprendizagem, aqui representado por um simulador, pode ser de grande ajuda no preenchimento dessas lacunas.

O efeito fotoelétrico, apesar do grande número de aplicações, carece de entendimento de grande parte da população. Uma descrição refinada que explore os principais conceitos da época, ideias de quantização de energia, comportamento corpuscular da luz, e, sobretudo aplicações tecnológicas merecem ser exploradas na educação básica para uma descrição correta desse fenômeno.

A apresentação desse roteiro e as discussões propostas surgem no sentido de amenizar o nível de abstração exigido, quando este assunto é trabalhado estritamente na base da explanação e apresentação de equações. Acreditamos que atrelar a essa abordagem a utilização desse aplicativo pode contribuir grandemente para assimilação dos principais conceitos por parte dos alunos, além de agregar mais uma ferramenta didática no ensino de física, principalmente na componente curricular física moderna, cujas atividades experimentais de baixo custo são cada vez mais restritas.

## REFERÊNCIAS

EINSTEIN, Albert. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. **Annalen der Physik**. XVII, p. 132 – 148, 1905.

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

GALLO, Patrícia; PINTO, Maria das Graças. Professor, esse é o objeto virtual de aprendizagem. **Revista Tecnologias na Educação**. Ano 2. N. 1. Julho 2010.

GARCÍA, Angel Franco. **Física con ordenador: El efecto fotoeléctrico**. Disponível em: <<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>>. Acesso em: 10 de outubro de 2012.

NUSSENZVEIG, H. Moisés. **Curso de Física Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1998. V. 4.

PENTEADO, Paulo César; TORRES, Carlos Magno. **Física – Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Moderna, 2005. V.3.

ROCHA, José Fernando (org.). **Origens e evolução das idéias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002. 374p.

*Recebido em 29/10/2012*

*Aprovado em 24/06/2013*