

4323301 - Física Experimental C

Efeito fotoelétrico

Grupo:

Nome	No. USP	No. Turma

Introdução

O Objetivo dessa experiência consiste em determinar a constante de Planck através da medida do efeito fotoelétrico e caracterizar o comportamento dual (onda-partícula) da radiação eletromagnética.

Em 1887, Hertz realizava sua famosa experiência, onde eram produzidos e detectados ondas eletromagnéticas em laboratório, confirmando e comprovando as características ondulatórias da radiação eletromagnética e da teoria de Maxwell. Por pura casualidade ele também descobriu o efeito fotoelétrico que corresponde a uma descrição corpuscular da luz. Em 1899, Thomson constatou que partículas negativas (elétrons) eram emitidas quando uma superfície metálica era exposta à luz e em 1902, P. Lenard conseguiu medir a energia desses elétrons.

Em 1905 Albert Einstein propôs que a radiação eletromagnética é composta de “pacotes” de energia ou fótons. Ele propôs ainda que a Energia E de cada fóton seria proporcional à frequência ν da radiação, ou seja, $E=h\nu$, onde h é a constante de Planck, utilizada originalmente para explicar a radiação do corpo negro. O efeito fotoelétrico corresponde ao fenômeno de emissão de elétrons pela incidência de um fóton. O fóton, ao incidir sobre uma superfície metálica, pode ter sua energia totalmente absorvida por um elétron, que eventualmente pode ser ejetado da superfície. A energia cinética com que esse elétron sai da superfície é dada por: $E_c=h\nu-e\phi$, ou seja, a energia do fóton menos o trabalho necessário para extrair um elétron do metal, onde e é a carga do elétron e ϕ é denominada função de trabalho do metal. A partir dessa expressão proposta por Einstein podemos verificar que a máxima energia com que o elétron é ejetado não depende da intensidade da fonte. Aumentar a intensidade da fonte significa aumentar o número de fótons que incide sobre a superfície metálica por unidade de tempo. Como consequência um número proporcionalmente maior de elétrons é emitido pela superfície, o que aumenta a corrente fotoelétrica, mas a energia máxima continua a mesma. Por outro lado, se a frequência da radiação produzir um

fóton com energia menor do que $e\phi$, nenhum elétron terá energia suficiente para escapar do metal. Isso corresponde a uma frequência de corte $\nu_0 = e\phi/h$. Essa teoria dos fótons explicaria ainda explica porque não há atraso na emissão dos foto-elétrons. Mesmo para intensidades baixas da fonte de radiação um grande número de fótons incide sobre a superfície, ejetando elétrons imediatamente num processo parecido com colisões de partículas.

A equação $E_c = h\nu - e\phi$, proposta por Einstein prevê portanto uma relação linear entre a energia máxima dos fótons-elétrons e a frequência da radiação incidente. Essa relação foi verificada experimentalmente por Milikan com auxílio de uma célula foto-elétrica em 1914, numa experiência bastante parecida com a que vamos trabalhar, permitindo uma medida alternativa da constante de Plank.

Arranjo experimental

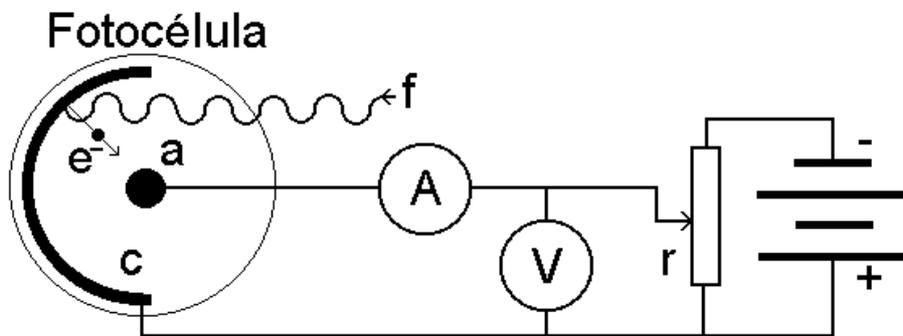


Figura-1. Esquema simplificado do arranjo experimental para o experimento do efeito fotoelétrico.

A figura-1 mostra o arranjo esquemático e simplificado do experimento. Nesse arranjo temos a fotocélula, um pico-amperímetro (A) um voltímetro (V) e uma fonte de tensão variável (consistindo de baterias ligadas a um potenciômetro). A fotocélula consiste de uma ampola de vidro contendo um cátodo (c), feito de um metal de baixa função de trabalho, e um ânodo (a) com uma alta função de trabalho, em vácuo. Uma fonte de luz monocromática é utilizada para iluminar o cátodo. A figura-1 mostra ainda o fóton (f) incidindo sobre o cátodo e a consequente emissão de um foto-elétron (e-).

Procedimento experimental

- 1) Alinhe o sistema ótico (Lâmpada, rede de difração e lente, caixa com a fotocélula) de forma a obter uma imagem da fenda diretamente sobre a fotocélula. Será necessário ajustar a distância da rede de difração e lente para obter uma boa focalização. Gire o braço contendo a caixa com a fotocélula de forma a fazer incidir luz de um único comprimento de onda λ sobre a fotocélula. Observe que os feixes difratados são mais intensos de um lado do que do outro, isto é, a rede refrata mais favoravelmente para um certo lado. Para as raias amarela e verde, use sempre o filtro da cor correspondente.

- 2) Ao colocar uma lente diante da iluminação gerada pela lâmpada, é possível decompor a sua luz num conjunto enumerável de raias coloridas e, com isso, avaliar o efeito fotoelétrico provocado por radiações com comprimentos de ondas conhecidos.
- 3) Incida a radiação ultravioleta sobre a abertura da fotocélula, e obtenha a curva que caracteriza o comportamento da corrente fotoelétrica I em função de V , através do programa KeithLey .
- 4) Mantendo fixas as configurações relacionadas a V de agora em diante, obtenham (pelo menos) duas novas curvas de I versus V utilizando a mesma radiação, porém com intensidades reduzidas. Para isso utilizem os filtros disponíveis na bancada do laboratório. Sugestão: usem os filtros indexados com 20% e 60% .
- 5) Repitam os procedimentos dos itens (3) e (4) , agora utilizando as demais radiações violeta, azul, verde e amarela . Recomendação importante: no caso das radiações verde e amarela , utilizem os filtros com a mesma coloração.
- 6) Organizem as tabelas. Vocês terão 3 tabelas para intensidades 100%, 60% e 20% para cada radiação incidente.
- 7) Com a lâmpada desligada , obtenham uma nova curva de I versus V (corrente escura).

Análise dos dados

- 1) Subtraia de todas as curvas I versus V os valores obtidos da corrente escura.
- 2) Após a subtração superponham as novas três curvas obtidas para cada radiação num único gráfico. O que vocês observam?
- 3) Verifiquem se a corrente I se anula em algum ponto nessas curvas.
- 4) Precisamos determinar um único valor de V que represente o valor da tensão de corte V_0 . Vamos adotar 3 possíveis métodos.

Método-1: Adotem como V_0 o valor de V onde a corrente se anula.

Método-2: Adotem como V_0 o valor de V onde as três curvas para cada intensidade para uma dada radiação se cruzam.

Método-3: Adotem como V_0 o ponto de cruzamento entre as duas retas assintóticas da curva I versus V .
- 5) Calcule agora os valores das frequências correspondentes a cada radiação do mercúrio usando a tabela disponível com comprimentos de onda.

Principais raias do espectro de Mercúrio

Cor	Compr. de onda (Å)
Ultravioleta	3654.83
Violeta	4046.56
Azul	4358.35
Verde	5460.74
Amarela	5789.69, 5769.60 (Dublete)

Constantes físicas fundamentais (SI)

Constante de Planck	h	6.6262×10^{-34} Js
Velocidade da luz	c	2.9979×10^8 m/s
Carga do elétron	e	1.6022×10^{-19} C

- 6) Construa um gráfico relacionando os valores obtidos no item-4 com o método-1 com as frequências das radiações.
- 7) Construa um gráfico relacionando os valores obtidos no item-4 com o método-2 com as frequências das radiações.
- 8) Construa um gráfico relacionando os valores obtidos no item-4 com o método-3 com as frequências das radiações.
- 9) É possível supor que existe alguma linearidade entre os pontos nesses gráficos? Se sim, ajuste uma reta a eles e encontre um valor para o coeficiente angular $A = \langle A \rangle \pm \sigma_A$ para cada um dos gráficos (método-1, 2 e 3)

Roteiro para o relatório

O relatório deverá ser dividido em: Introdução, Descrição do aparato experimental, Obtenção dos dados, Análise dos dados e Conclusão. A seguir algumas perguntas que deverão ser respondidas ao longo do relatório em cada parte.

Introdução.

- (1) O que é o efeito fotoelétrico? Por que ele leva esse nome? Qual tipo de radiação eletromagnética serve para desencadeá-lo? Por quê?
- (2) Qual a hipótese que Einstein associou aos fótons para explicar o comportamento dos fotoelétrons que são ejetados de um material pela ação de uma radiação eletromagnética?
- (3) Qual é a expressão para a energia de um único fóton? Essa expressão depende de algum parâmetro que também descreve radiação eletromagnética? Comente.
- (4) Supondo que um único fóton incida sobre um único elétron preso a um material sob radiação, qual é a condição energética que esse fóton deve satisfazer para arrancar esse elétron do material? Escreva essa condição matematicamente.
- (5) Faça uma comparação entre as explicações da mecânica clássica e a teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico.

Descrição experimental.

- (1) Descreva o aparato experimental que vocês utilizaram para observar o efeito fotoelétrico. Para que serve a rede de difração?
- (2) De acordo com a lógica de funcionamento da fotocélula, por que é interessante submetermos a região entre o cátodo e o ânodo nela presentes à uma diferença de potencial V que pode ser variada?
- (3) Por que a função trabalho do ânodo deve ser alta ?

Obtenção dos dados.

- (1) Descreva com detalhes o que vocês fizeram e quais foram os dados obtidos.
- (2) Para que serve os filtros verde e amarelo?
- (3) Por que vocês mediram com a lâmpada desligada, uma curva de I versus V .
- (4) Por que vocês utilizaram radiação de diferentes frequências?

Análise de dados

- (1) Qual é o significado físico que está por trás da subtração da corrente escura de todas as curvas I versus V ?
- (2) Da superposição das três curvas obtidas para cada radiação num único gráfico. O que vocês observam?
- (3) Existe algum intervalo onde a corrente I assume valores negativos? Qual o significado físico disso?
- (4) De acordo com os gráficos que vocês obtiveram, é possível afirmar que corrente I aumenta conforme a intensidade de uma radiação vai aumentando? Qual o significado físico disso?
- (5) No método-1. Qual o significado físico da corrente I se anular em algum ponto nas curvas I versus V e por que vocês podem considerar o valor de V nesse ponto como sendo V_0 .
- (6) No Método-2. O valor de V associado ao ponto de cruzamento das três curvas para cada intensidade para uma dada radiação pode ser considerado compatível com o de V_0 ? Aliás, pelo ponto de vista teórico, é razoável que esses dois valores sejam compatíveis? Por quê? Dica: justifiquem as suas respostas usando a mesma expressão matemática
- (7) No Método-3 o valor de V associado ao ponto de cruzamento das retas assintóticas foi adotado como V_0 , isso é razoável? Por que?

Conclusão

Qual o significado físico para o coeficiente angular encontrado com os métodos 1, 2 e 3. Eles são compatíveis com o valor estimado para $h/e = 4,14 \times 10^{-15} \text{ V.s}$? Justifique por que isso ocorre, deixando claro o motivo teórico que indica ser razoável interpretar esse coeficiente A como a razão h/e . Comente sobre os 3 métodos.