

# Física Experimental V

## Efeito Fotoelétrico

Grupo :

Nome	Nº USP	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  $f$  da radiação, ou seja,  $E = hf$ , 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:  $E_c = hf - e\phi$ , ou seja, a energia do fóton menos o trabalho necessário para extrair um elétron do metal, onde  $e$  é a carga do elétron e  $\phi$  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  $f_0 = e\phi/h$ . 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  $E_c = hf - e\phi$ , proposta por Einstein prevê portanto uma relação linear entre a energia máxima dos foto-elétrons e a frequência da radiação incidente. Essa relação foi verificada experimentalmente por Millikan 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 Planck.

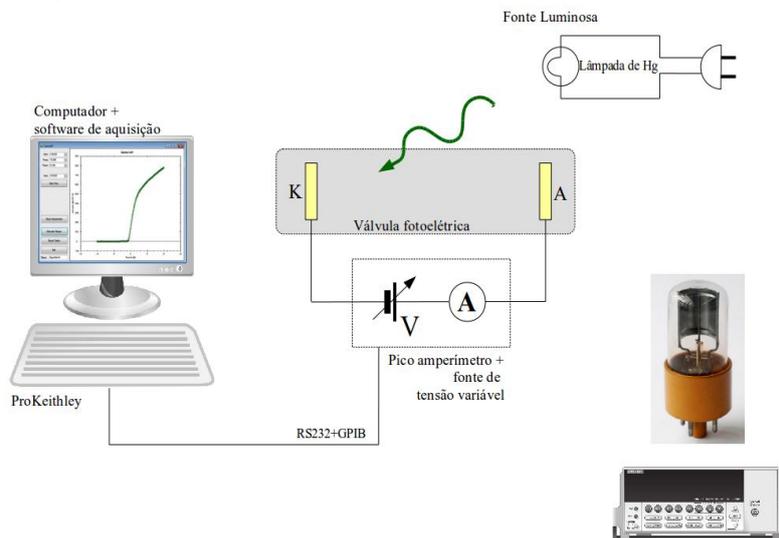


Figura 1: Aparato experimental utilizado no experimento sobre o efeito fotoelétrico. Tomada de dados utilizando a lâmpada de Hg.

A figura 1 mostra o arranjo esquemático e simplificado do experimento utilizando uma Lâmpada de Hg como fonte de luz. . Nesse arranjo temos a fotocélula, um pico-amperímetro (A) integrado com uma fonte de tensão variável (V). A fotocélula consiste de uma ampola de vidro contendo um cátodo (K), feito de um metal de baixa função de trabalho, e um ânodo (A) com uma alta função de trabalho, em vácuo. Um LED é utilizado juntamente com filtros de cor como fonte de luz monocromática para iluminar o cátodo.

### Procedimento experimental – Primeira Tomada de Dados.

O primeiro dia o experimento será efetuado utilizando uma lampada de Hg e uma rede de difração para selecionar o comprimento de onda da radiação incidente. Sugere-se o seguinte procedimento para a tomada de dados:

1. Alinhe o sistema ótico (Lâmpada, rede de difração, 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 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  $\lambda$  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. Resete o pico-amperímetro utilizando o botão específico para esta finalidade que está presente na tela do programa *ProKeithley*. O procedimento de reset deve ser efetuado com a iluminação desligada, com a fotocélula completamente coberta e com 0 volts de tensão aplicada sobre os eletrodos. A tensão deve ser ajustada manualmente no botão “Seta Vout”.
3. Ajuste a largura da fenda utilizando um par de giletes para que as raias espectrais esteja bem diferenciadas. Ao colocar uma rede de difração diante da iluminação gerada pela lâmpada, é possível decompor a sua luz num conjunto discreto de raias coloridas e, com isso, avaliar o efeito fotoelétrico provocado por radiações com comprimentos de ondas conhecidos.
4. 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 .
5. Mantendo fixas as configurações relacionadas a  $V$  de agora em diante, obtenham as curvas de  $I \times V$  utilizando a mesma radiação, porém com intensidades reduzidas. Para isso utilizem os filtros disponíveis na bancada do laboratório. Usem os filtros indexados com 20%, 40%, 60% , 80% e 100%.
6. Repitam os procedimentos dos itens (3), (4) e (5) , 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.
7. Organizem as tabelas. Vocês terão 6 arquivos de dados para intensidades 20%, 40%, 60% , 80% e 100%. para cada comprimento de onda da radiação incidente.
8. Com a lâmpada desligada, obtenham uma nova curva de  $I$  versus  $V$  (corrente escura).

**Importante:** Se a curva se apresentar ruidosa, descarte a aquisição e tome novos dados. Evite o uso de telefones celulares durante a tomada de dados, eles podem provocar iluminação parasita sobre a célula fotoelétrica e comprometer a tomada de dados.

A seguinte tabela pode ser utilizada para organizar a tomada de dados.

**Tabela 1 - Organização da tomada de dados – primeira tomada de dados.**

Filtro de Intensidade	Cor da radiação incidente					
	U.V	Violeta	Azul	Verde	Amarelo	Vermelho
100%						
80%						
60%						
40%						
20%						
corrente de escuro						

## 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 questões 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 breve comparação entre as explicações da mecânica clássica e a teoria de Einstein para o efeito fotoelétrico (não precisa entrar nos detalhes matemáticos da física clássica).

### Descrição experimental.

1. Descreva o aparato experimental que vocês utilizaram para observar o efeito fotoelétrico. Para que serve os filtros de cor?
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. Por que vocês mediram uma curva de  $I \times V$  com o iluminação desligada?
3. Por que vocês utilizaram radiação de diferentes frequências (cores) ?

### Análise de dados

1. Explique os métodos utilizados.
2. Qual é o significado físico da corrente escura de todas as curvas  $I \times V$  e como o método da derivada segunda resolve esta questão?
3. Da superposição das curvas obtidas com diferentes intensidades para uma mesma radiação num único gráfico. O que vocês observam?
4. Existe algum intervalo onde a corrente  $I$  assume valores negativos? Qual o significado físico disso?
5. 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?
6. Discuta o resultado do ajuste  $V_0 \times f$ .

### Conclusão

Qual o significado físico para o coeficiente angular encontrado na curva  $V_0 \times f$ , Eles são compatíveis com o valor estimado para  $h = 4,13 \times 10^{-15} [eV \cdot s]$ ? Justifique por que isso ocorre, deixando claro o motivo teórico que indica ser razoável interpretar esse coeficiente como a constante  $h$ . Comente sobre a validade dos métodos de determinação do potencial de corte.