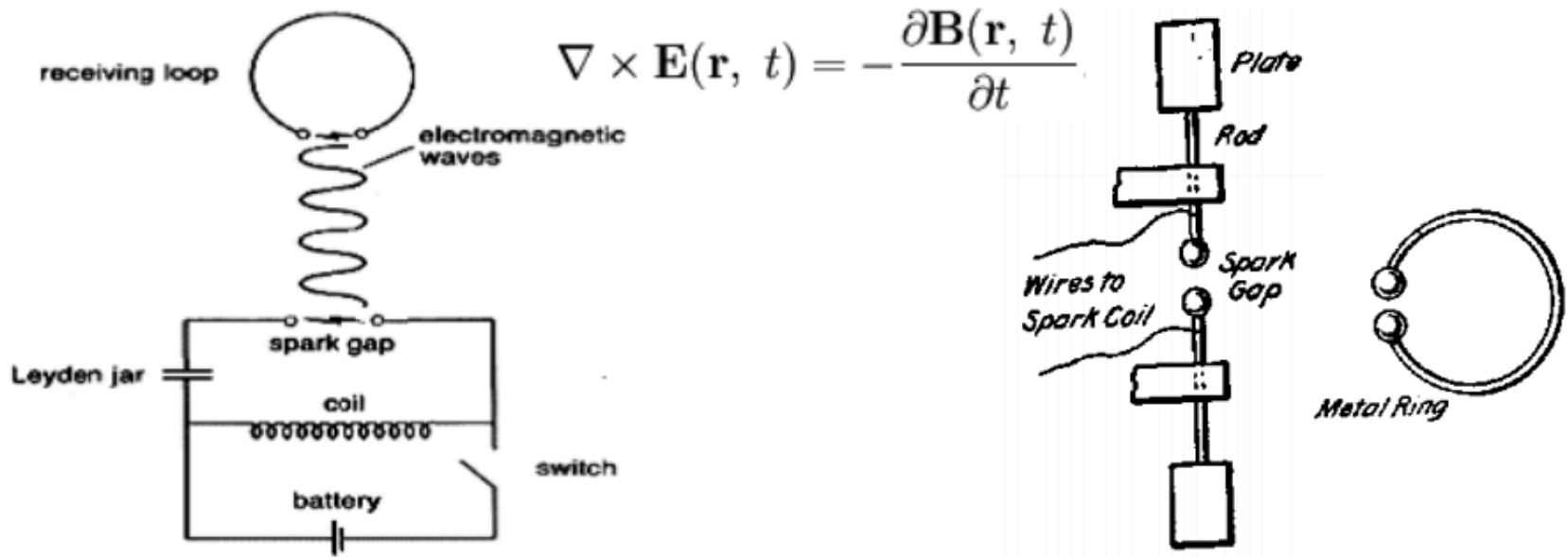


O Efeito fotoelétrico

Laboratório de Estrutura I
Prof. Helena Malbouisson

Ondas eletromagnéticas

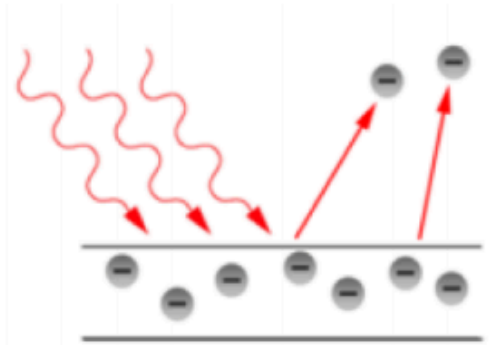
Em 1887, Heinrich Rudolf Hertz mostrou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas conforme a teoria matemática proposta por James Clerk Maxwell.



Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre um deles luz

Ondas e elétrons

Hipótese plausível:



Os átomos no cátodo eram constituídos de elétrons que eram agitados pelo campo elétrico oscilante da radiação incidente. Alguns deles eram agitados o suficiente para se desprenderem do átomo e seriam então ejetados do cátodo.

Para uma intensidade mais alta da radiação, os elétrons seriam agitados mais violentamente e mais elétrons seriam ejetados e a uma **velocidade média maior**.

Para uma intensidade fraca, seria então necessário um tempo maior para um elétron ganhasse uma amplitude suficiente para ser ejetado.

Para frequências altas, os elétrons seriam agitados mais rapidamente o que os ajudaria a sair mais rapidamente.

O Fóton, o Quantum de luz

- Proposta de Einstein de 1905: a radiação eletromagnética é quantizada e a quantidade elementar de luz é o fóton.
- Fóton: mediador das interações eletromagnéticas (teoria quântica de campos).
- Um fóton tem uma energia dada por:

$$E = hf$$

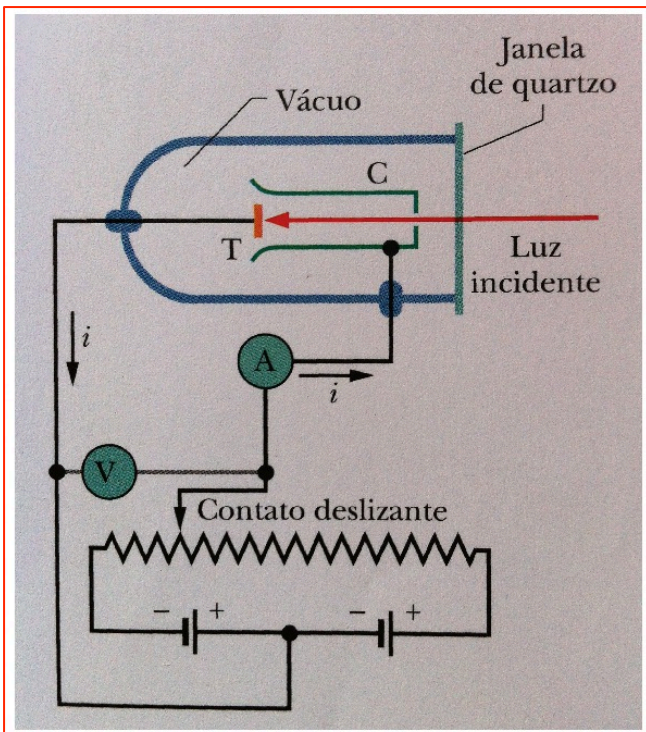
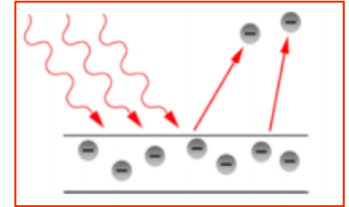
onde h é conhecida como **constante de Planck**:

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

- A **menor energia** que uma onda luminosa de frequência f pode possuir é **hf** (energia de um único fóton);
 - Se a onda possui uma energia maior, essa deve ser um múltiplo de hf .
- Einstein propôs ainda que a luz *emitida* ou *absorvida* por um corpo ocorre a *nível atômico*;
 - Quando um fóton de energia hf é **absorvido** por um átomo, a energia hf do fóton é transferida para o átomo.
 - Quando um fóton de frequência f é **emitido** por um átomo, uma energia hf é transferida para o fóton.
- **Em todo evento de absorção ou emissão, a variação de energia é sempre igual à energia do fóton.**

O Efeito Fotoelétrico

- No efeito fotoelétrico, **elétrons são emitidos pela matéria** (metal, sólidos não metálicos, gases ou líquidos), **como consequência da absorção de energia da radiação eletromagnética** (fótons);
 - Esses elétrons são chamados de **fotoelétrons**.
- Descoberto por Heinrich Hertz 1887;
- Vamos analisar dois experimentos que envolvem o efeito fotoelétrico, ambos usando a montagem abaixo:



- Luz de frequência f incide no alvo T, ejetando elétrons (**fotoelétrons**);
- Elétrons ejetados são recolhidos pelo coletor C, devido à diferença de potencial mantida entre o alvo T e o coletor;
- Os elétrons se movem no circuito formando uma corrente elétrica i (**corrente fotoelétrica**, indicada na figura);
- Baterias e resistor variável são usados para produzir e ajustar a diferença de potencial. 6

Primeiro experimento do efeito fotoelétrico

- Ao atravessar uma diferença de potencial V negativa, os elétrons ejetados perdem energia;

Experimento:

1. Aumentar V negativo até que a corrente fotoelétrica seja nula → **potencial de corte, V_{corte}** ;
2. Quando $V = V_{corte}$, os fotoelétrons mais energéticos são detidos logo antes de chegar no coletor → sua energia cinética máxima é dada por:

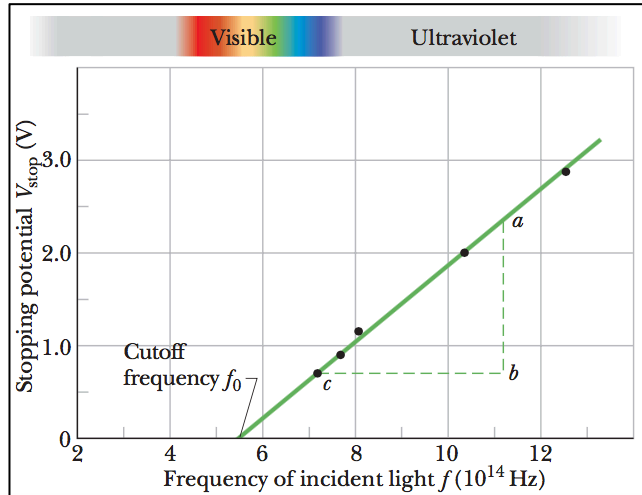
$$K_{m\acute{a}x} = eV_{corte}$$

Onde e é a carga elementar.

- Experimentos mostram que para uma **luz de mesma frequência f , o valor de $K_{m\acute{a}x}$ não depende da intensidade da luz incidente no alvo;**
- **Isso não pode ser explicado pela Física Clássica;**
- Na Física Clássica, a luz é uma onda eletromagnética → quanto maior a amplitude da onda (intensidade da luz), maior a energia desta → maior a energia dos elétrons ejetados. Mas não é isso que acontece!
- Para uma dada frequência f , a energia máxima dos elétrons emitidos pelo alvo é sempre a mesma;
- Se pensarmos em termos de fótons: a energia máxima que um elétron ejetado pode obter é a energia de um único fóton. Ao aumentarmos a intensidade da luz, aumentamos o número de fótons, mas a energia de cada fóton ($E=hf$) continua a mesma. → **dualidade onda-partícula!**

Segundo experimento do efeito fotoelétrico

- Consiste em medir o potencial V_{corte} para várias frequências f da luz incidente;
- O resultado obtido está mostrado abaixo:



- O efeito fotoelétrico não é observado se a frequência da luz for menor que um certo valor crítico, uma certa frequência de corte f_0 , ou equivalentemente, comprimento de onda de corte, $\lambda_0 = c/f_0$;
- O resultado não depende da luz incidente.

- O resultado acima não pode ser explicado pela Física Clássica: se a luz se comportasse apenas como onda teria energia suficiente para ejetar elétrons, independente da sua frequência, contanto que tivesse uma intensidade suficientemente grande. Mas isso não acontece!
- Se pensarmos em termos de fóton:
 - Os elétrons se mantêm fixos ao alvo por uma força elétrica exercida sobre eles;
 - Para se livrarem dessa força (serem ejetados), necessitam de uma certa energia mínima Φ , que depende do material do alvo;
 - Essa energia mínima recebe o nome de função trabalho;
 - Quando $hf > \Phi \rightarrow$ o elétron escapa do alvo. Quando $hf < \Phi \rightarrow$ o elétron não pode escapar.

A Equação do Efeito Fotoelétrico

Einstein resumiu os resultados dos experimentos do efeito fotoelétrico na seguinte equação:

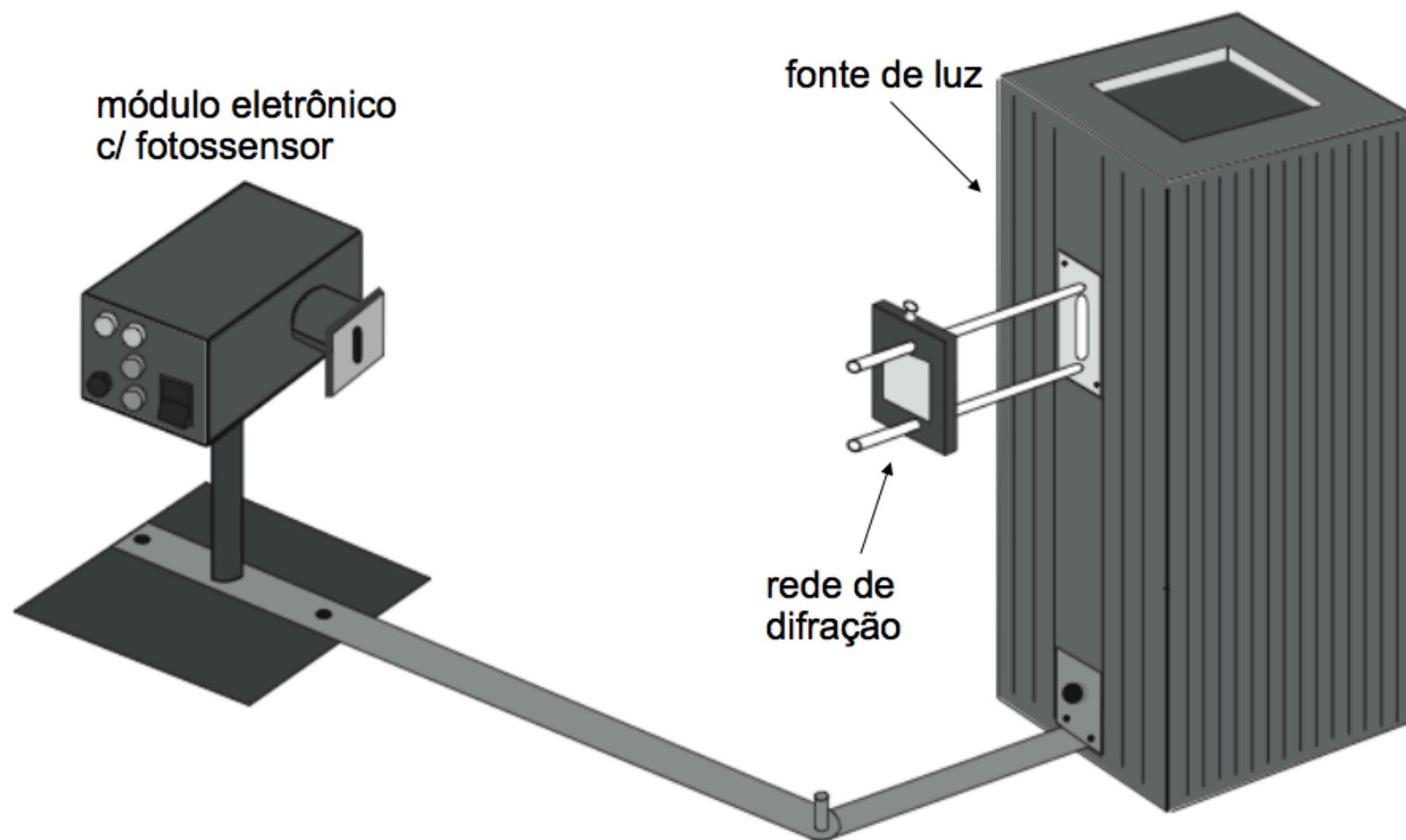
$$hf = K_{\text{máx}} + \Phi \text{ (equação do efeito fotoelétrico)}$$

- A equação acima é a aplicação da lei de conservação de energia à emissão fotoelétrica por um alvo com uma função trabalho Φ ;
- A energia do elétron ejetado deve ser igual à do fóton incidente;
- O elétron necessita de uma certa energia (Φ) para escapar do alvo. A diferença de energia ($hf - \Phi$) será adquirida em energia cinética.
- Substituindo $K_{\text{máx}}$ em função de V_{corte} , temos:

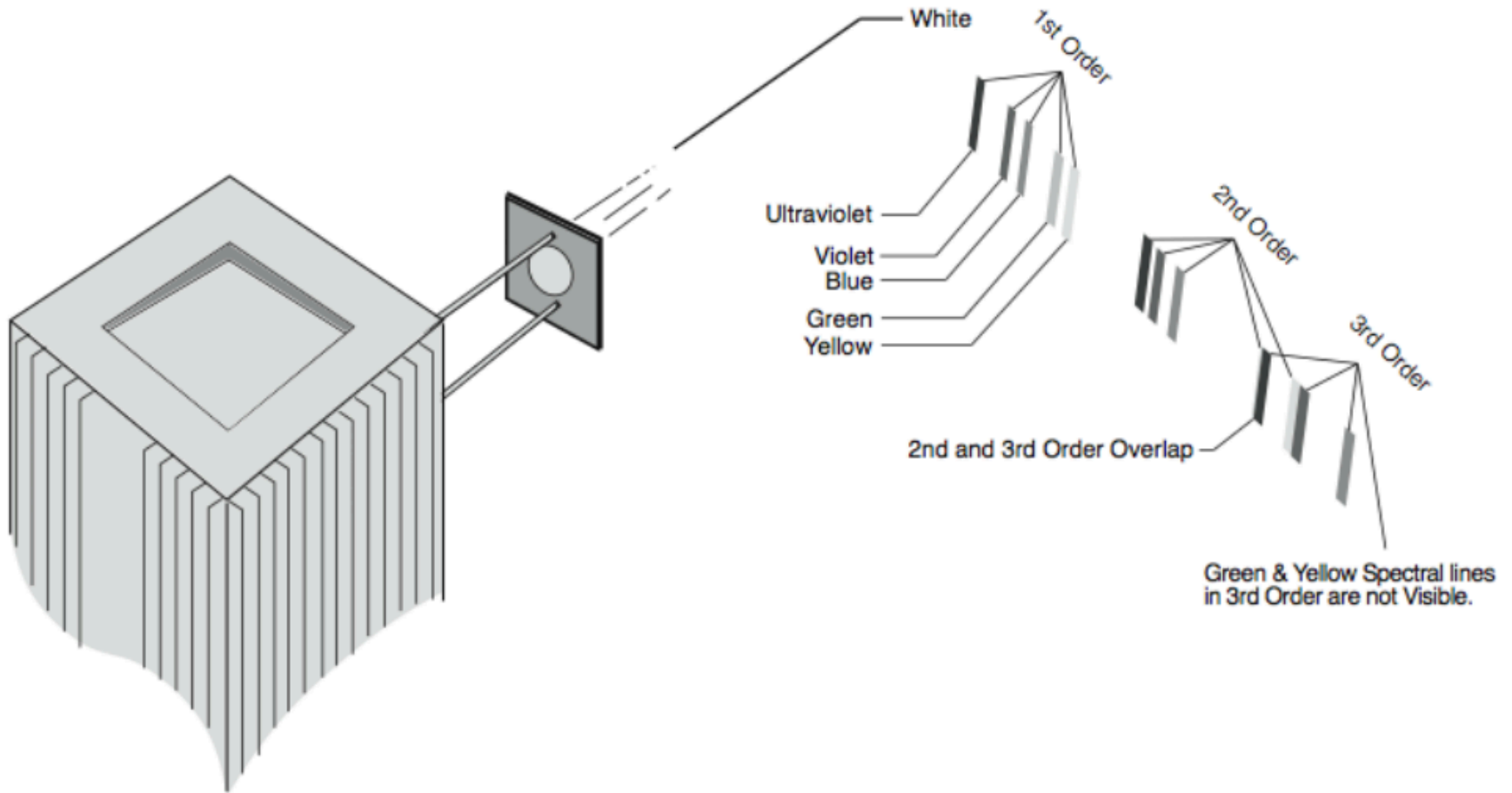
$$\begin{aligned} hf &= eV_{\text{corte}} + \Phi \rightarrow eV_{\text{corte}} = hf - \Phi \\ &\rightarrow V_{\text{corte}} = (h/e)f - (\Phi/e) \end{aligned}$$

Como (h/e) e (Φ/e) são constantes, V_{corte} tem uma dependência linear com a frequência f , como vimos no gráfico anterior.

Experimento PASCO AP-9368

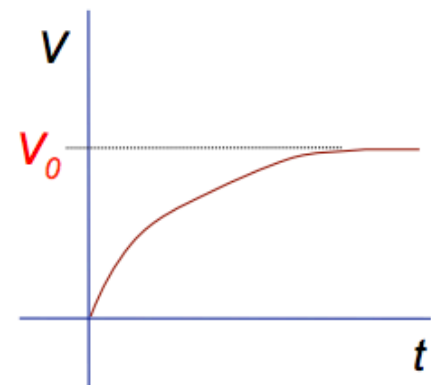
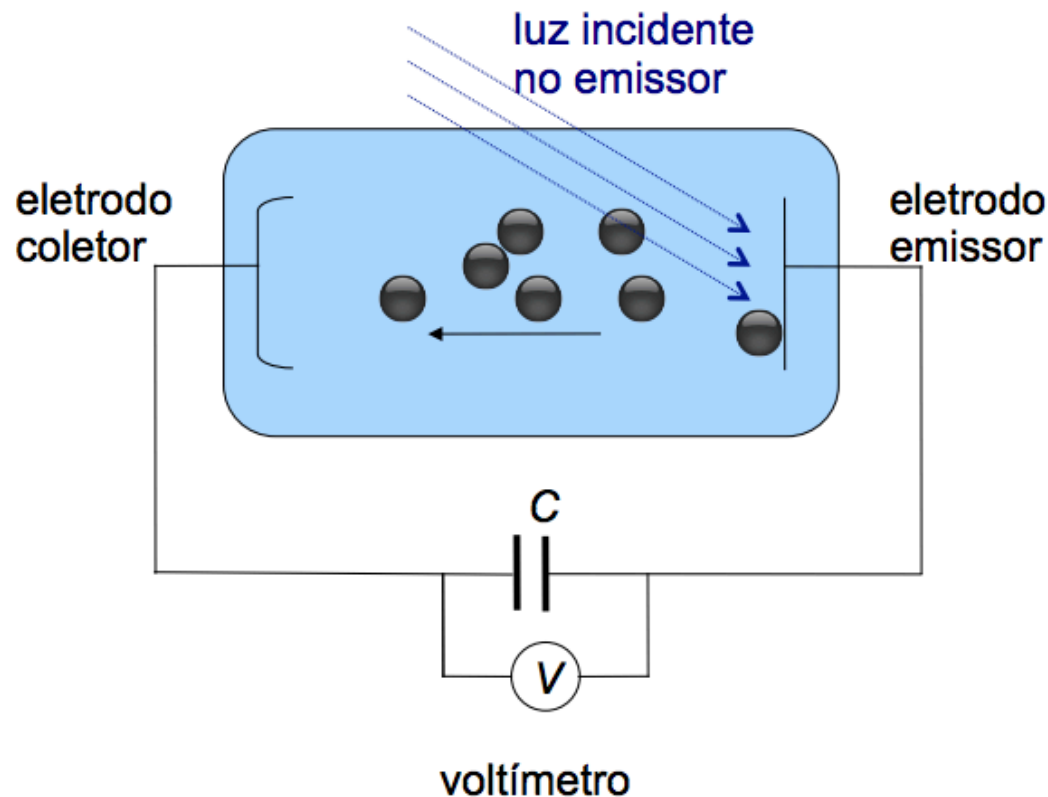


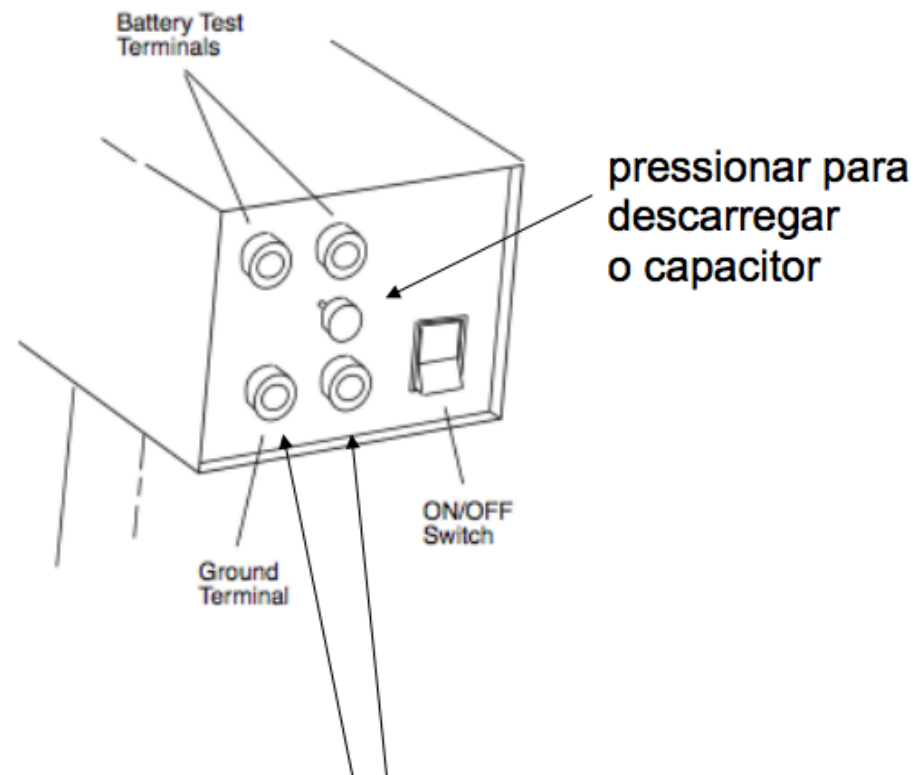
Experimento PASCO AP-9368



Particularidades do Experimento

- **A fonte de tensão é gerada pela própria corrente fotoelétrica, carregando o capacitor de pequena capacitância ligado ao fotossensor.**



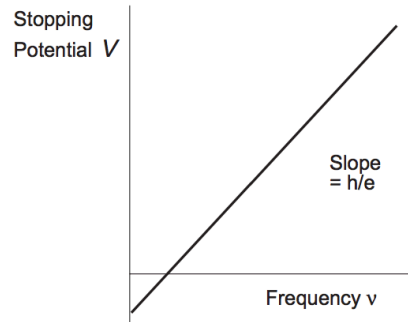


A única medida possível com este experimento é a tensão de estabilização para os vários comprimentos de onda. Além disto, é possível verificar o tempo necessário para que ela seja atingida.

Tarefas

- Verificar a teoria de Einstein através da verificação do potencial de corte em função do comprimento de onda:

- Obter a constante de Planck;



- Verificar o tempo para obtenção do potencial de corte em função da intensidade da luz incidente;

- Discutir os resultados com base nos princípios ondulatórios e na teoria de Einstein da luz.

Color #1 _____ (name)	%Transmission	Stopping Potential	Approx. Charge Time
	100		
	80		
	60		
	40		
	20		
Color #2 _____ (name)	%Transmission	Stopping Potential	Approx. Charge Time
	100		
	80		
	60		
	40		
	20		

Light Color	Stopping Potential
Yellow	
Green	
Blue	
Violet	
Ultraviolet	