

# Quantização da luz e a dualidade onda-partícula

Flaviano Williams Fernandes

Instituto Federal do Paraná  
Campus Irati

7 de Julho de 2022

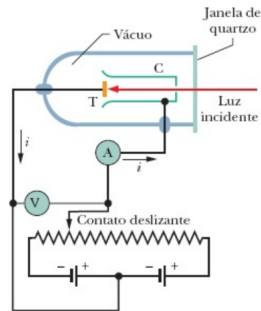
# Sumário

- 1 **Quantização da luz**
- 2 **Comportamento ondulatório da matéria**
- 3 **Apêndice**

## Efeito fotoelétrico

Vamos considerar um equipamento por onde incide uma luz de determinada frequência no alvo T de um metal específico. A experiência mostra que os elétrons são ejetados do material gerando uma corrente  $i$  que pode ser registrada pelo amperímetro A.

Uma diferença de potencial  $V$  é ajustada entre os terminais do aparelho com a intenção de frear os elétrons até pararem, registrando assim uma corrente zero no amperímetro. Dessa maneira, a energia cinética máxima  $K$  deve ser igual a  $eV_F$ .



Montagem usada para o estudo do efeito fotoelétrico.

## O que era esperado pela teoria clássica

De acordo com a teoria do eletromagnetismo, a intensidade da onda  $I$  eletromagnética é dado por  $I = \frac{E_m^2}{2\mu_0 c}$ , ou seja, depende somente da amplitude do campo elétrico  $E_m$  e não da frequência da luz. Além do mais, como a intensidade é potência por área, era de se esperar que o metal absorvesse cada vez ao longo do tempo. Assim o elétron teria energia cinética o suficiente para escapar do material. Portanto, era de se esperar que

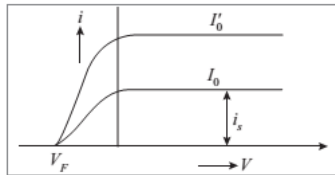
- ✓ *a energia cinética dos elétrons deveria depender da intensidade da onda;*
- ✓ *o efeito fotoelétrico deveria ocorrer com a luz de qualquer frequência;*
- ✓ *deveria haver um retardo de tempo, de modo que o elétron absorvesse energia do feixe continuamente.*

## O que foi observado experimentalmente

Foi observado que a energia cinética  $K$ , onde

$$K = eV_F,$$

independe da luz incidente. Aumentando a intensidade, apenas aumenta a corrente no circuito, mas o potencial de corte  $V_F$  permanece o mesmo.



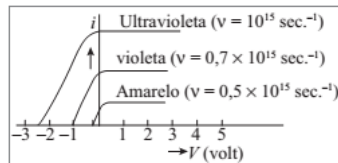
Variação da corrente com o potencial.

### Corollary

*O efeito fotoelétrico independe da intensidade da luz incidente.*

## O que foi observado experimentalmente

Foi observado que para cada material existe um limiar de frequência  $\nu_0$ . Caso a frequência da luz incidente for menor que  $\nu_0$ , o efeito fotoelétrico não ocorre para aquele material. A figura apresenta um metal alcalino, onde para cada luz incidente, existe um potencial de corte. Nesse caso, o efeito fotoelétrico deixaria de ocorrer para a luz vermelha, que possui frequência menor que a amarela ( $\nu_{\text{verm}} = 0,4 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ ).



Variação da corrente para diversos valores da frequência da luz.

### Corollary

*Para frequências menores que  $\nu_0$  o efeito fotoelétrico não ocorre, qualquer que seja a intensidade da iluminação.*

## Hipótese de Einstein

Para explicar as divergências observadas no efeito fotoelétrico, Einstein propôs que a luz é constituída por pacotes de energia chamada fóton, onde cada fóton carrega a quantidade de energia

$$E = h\nu.$$

Assim, a energia cinética  $K$  dos elétrons que saem do material é dado por

$$K = eV_F = h\nu - \phi.$$

$\phi$  é denominado função trabalho, que representa a energia necessária para remover o elétron do material.

## Explicações plausíveis para o efeito fotoelétrico

- ✓ *O efeito fotoelétrico independe da intensidade da luz incidente. Um aumento na intensidade significa mais fótons com a mesma energia  $h\nu$  colidindo com elétrons diferentes, o que justifica o aumento na corrente elétrica. Mas se a energia de cada fóton não equivaler a função trabalho, os elétrons não conseguem escapar do material independente da quantidade fótons.*
- ✓ *Para frequências menores que  $\nu_0$  o efeito fotoelétrico não ocorre, qualquer que seja a intensidade da iluminação. Na colisão dos fótons com os elétrons, uma energia equivalente a  $h\nu$  é absorvida pelo elétron. Se essa energia não equivaler a função trabalho, o elétron não consegue escapar do material.*
- ✓ *Assim que a luz incide no metal, os elétrons são imediatamente removidos, não havendo um retardo de tempo. Na colisão, a energia dos fótons é imediatamente absorvida, não havendo a necessidade de mais colisões.*



## Como obter a constante de Planck e o limiar de frequência?

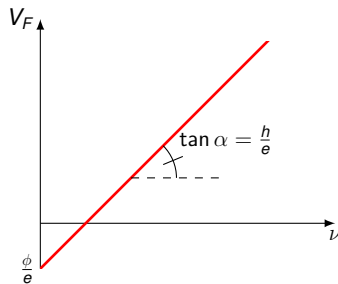
Isolando o potencial de corte  $V_F$  anteriormente teremos

$$eV_F = h\nu - \phi,$$

$$V_F = \frac{h}{e}\nu - \frac{\phi}{e}.$$

Considerando  $V_F$  como função da frequência da luz incidente, podemos representá-la em um gráfico  $V_F$  versus  $\nu$ , onde o coeficiente angular da reta representa o valor da constante de Planck,

$$h = 6,57 \times 10^{-34} \text{ J s.}$$

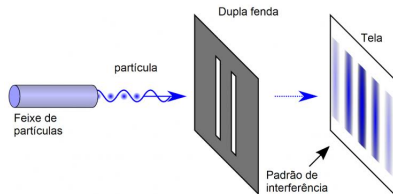


Representação de  $h$  a partir do gráfico potencial de corte versus frequência.

## Hipótese de de Broglie

Devido a simetria da natureza, o dualismo onda-partícula é um fenômeno absolutamente geral, ou seja, assim como foi observado que a luz possui comportamento corpuscular, é esperado que a partícula também possua comportamento ondulatório. De forma geral, podemos resumir

$$\nu = \frac{E}{h},$$
$$\lambda = \frac{h}{p}.$$



Fenômeno de interferência ondulatória envolvendo um feixe de elétrons.




## Apêndice A - Observações<sup>1</sup>

Esta apresentação está disponível para download no endereço  
<https://flavianowilliams.github.io/education>

---

<sup>1</sup>Este material está sujeito a modificações. Recomenda-se acompanhamento permanente.

## Referências

-  D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de física. Eletromagnetismo, v.4, 10. ed., Rio de Janeiro, LTC (2016)
-  R. D. Knight, Física: Uma abordagem estratégica, v.3, 2nd ed., Porto Alegre, Bookman (2009)
-  H. M. Nussenzveig, Curso de física básica. Eletromagnetismo, v.4, 5. ed., São Paulo, Blucher (2014)