

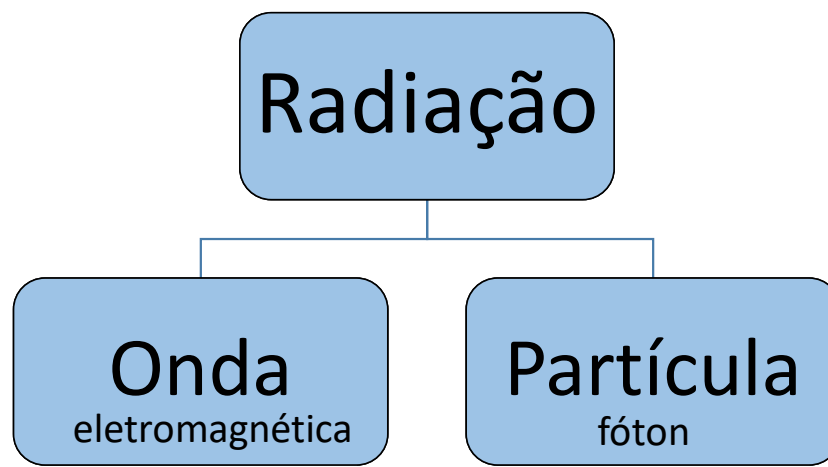
O fóton e Efeito Fotoelétrico

- FGB / Caderno 7 / Módulo 6 / Objetivo 4 / Pg. 354

Apresentação, orientação e tarefa: fisicasp.com.br

Professor Caio – Física

1. Dualidade onda-partícula



Exemplos:

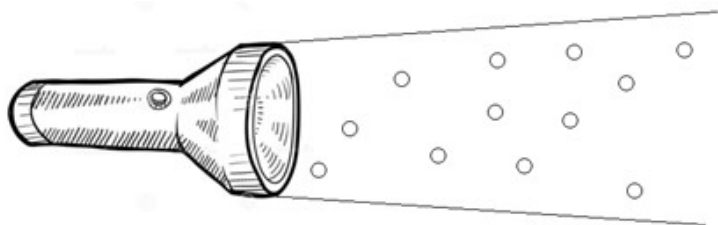
- Interferência
- Difração

Exemplos:

- Efeito fotoelétrico
- Efeito Compton
- Reflexão

2. Fóton

- Um feixe de radiação pode ser tratado como um conjunto de fótons.



- A energia de cada fóton é dada pela expressão.

$$E = hf$$

- Ainda podemos utilizar a equação fundamental da ondulatória.

$$v = \lambda \cdot f$$

- Se o feixe estiver se propagando no ar ou no vácuo.

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Unidades do SI

- E: Energia associada, medida em J
- h: Constante de Planck ($h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)
- f: frequência da onda, medida em Hz

Efeito Fotoelétrico

https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html?simulation=photoelectric&locale=pt_BR

3. Efeito fotoelétrico

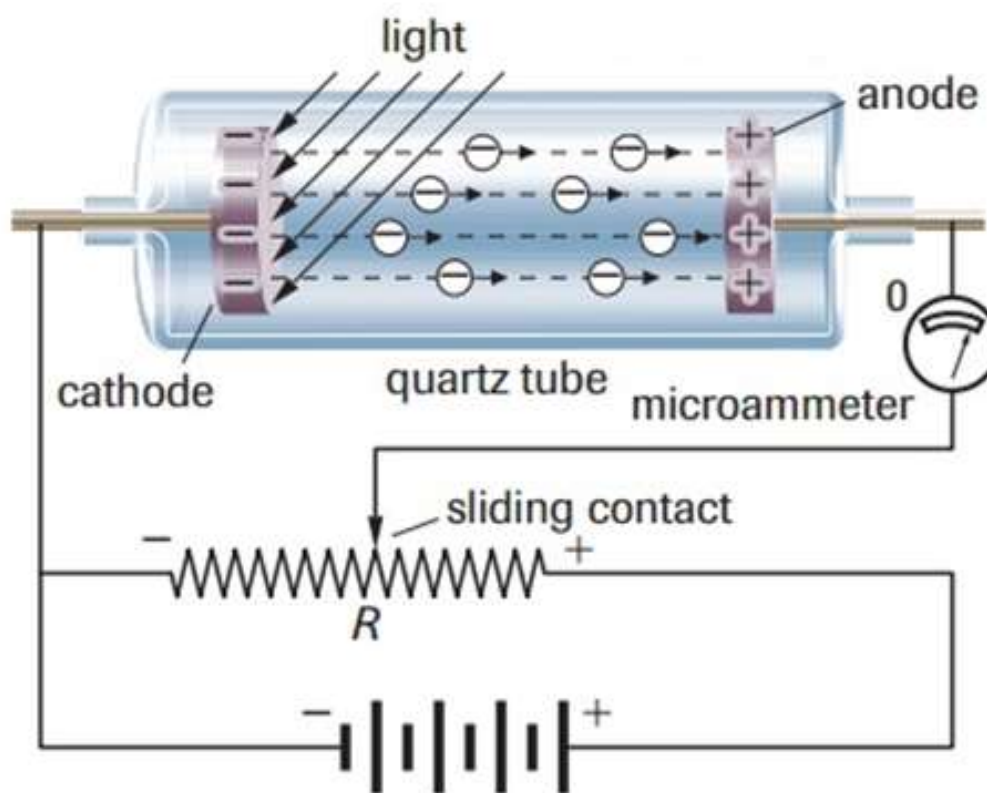
Foi descoberto em 1887 pelo alemão Heinrich Hertz.

Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando luz ultravioleta incide sobre um deles.



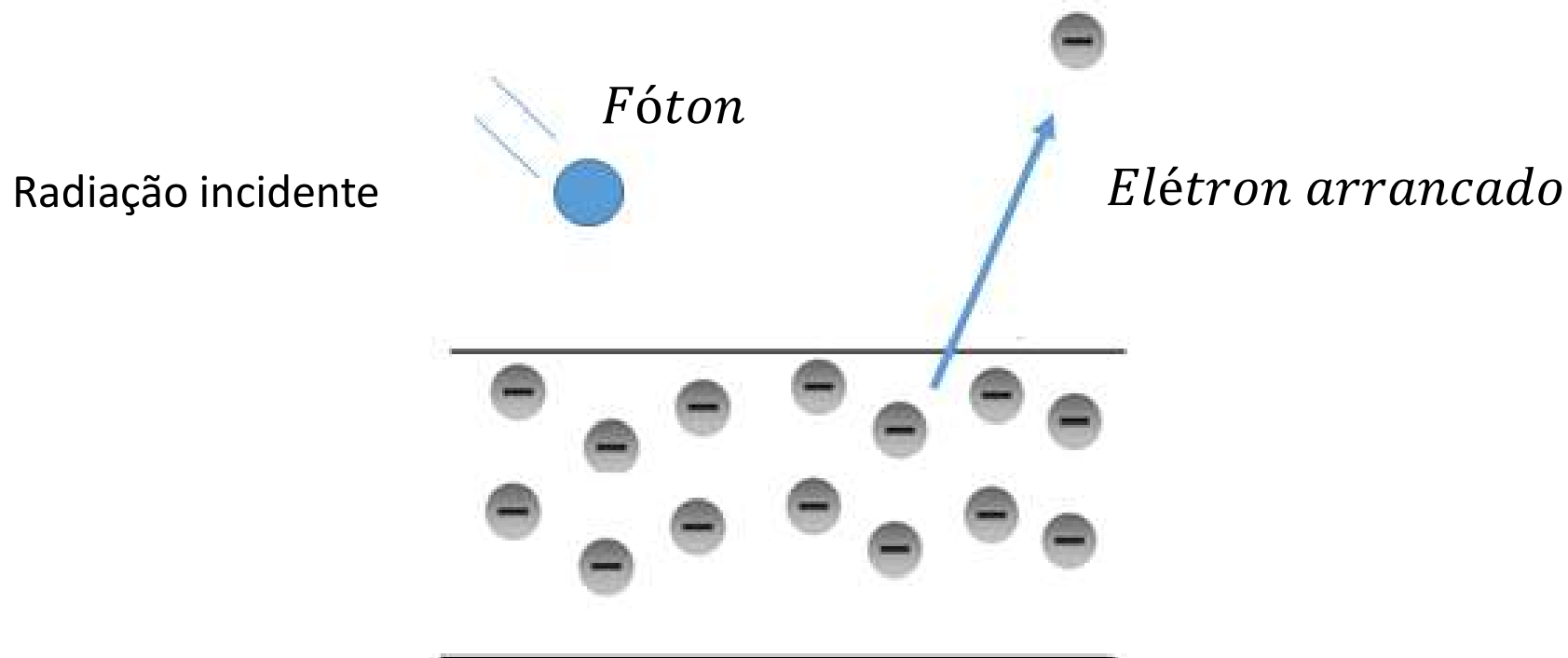
3. Efeito fotoelétrico

Em 1914 Robert Milikan estudou o efeito Fotoelétrico e recebeu o prêmio Nobel em 1923.



3. Efeito fotoelétrico

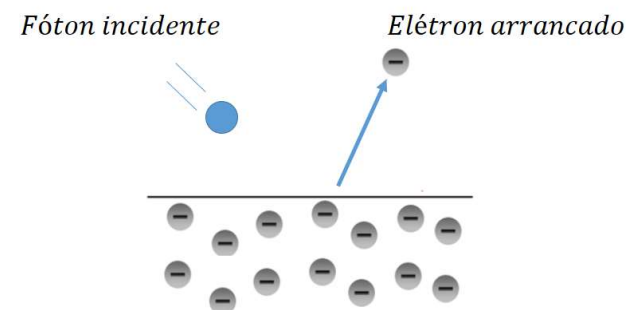
- Ocorre quando radiação incide em uma superfície metálica e arranca elétrons.



3. Efeito fotoelétrico: a teoria quântica de Einstein (1905 e Prêmio Nobel em 1921)

- A energia do fóton incidente é dada por

$$E_{fóton} = hf$$



- A energia cinética do elétron ($E_{c\ elétron}$) ejetado é calculada pela diferença entre a energia do fóton incidente ($E_{fóton}$) e o trabalho realizado para retirar o elétron do material (W).

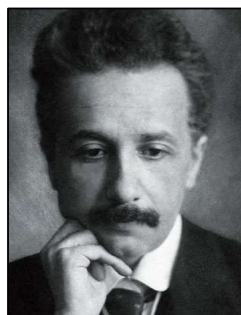
$$E_{c\ elétron} = E_{fóton} - W$$

$$E_{c\ elétron} = hf - W$$

Energia cinética do elétron ejetado

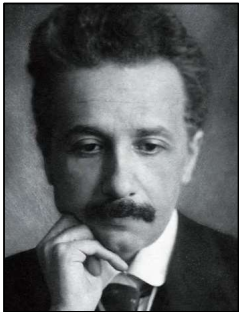
Energia do fóton incidente

Energia necessária para arrancar um elétron (função trabalho)



3. Efeito fotoelétrico: a teoria quântica de Einstein (1905 e Prêmio Nobel em 1921)

- Um elétron absorve apenas um fóton.
- O elétron é emitido de maneira instantânea.
- Se a energia do fóton incidente ($E_{fóton}$) for menor do a energia necessária para arrancar um elétron (W), o elétron não é arrancado.



Frequência de corte (f_0)

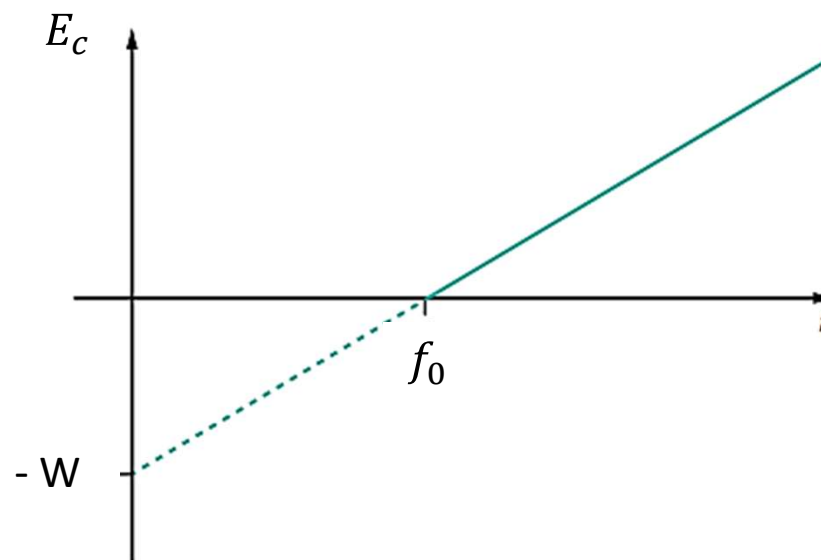
- Frequência mínima para ocorrer o Efeito Fotoelétrico
- Nesse caso o fóton tem energia suficiente apenas para arrancar um elétron, sem sobra.
- O elétron é ejetado com $E_c \text{ elétron} = 0$.

$$E_c \text{ elétron} = E_{\text{fóton}} - W$$

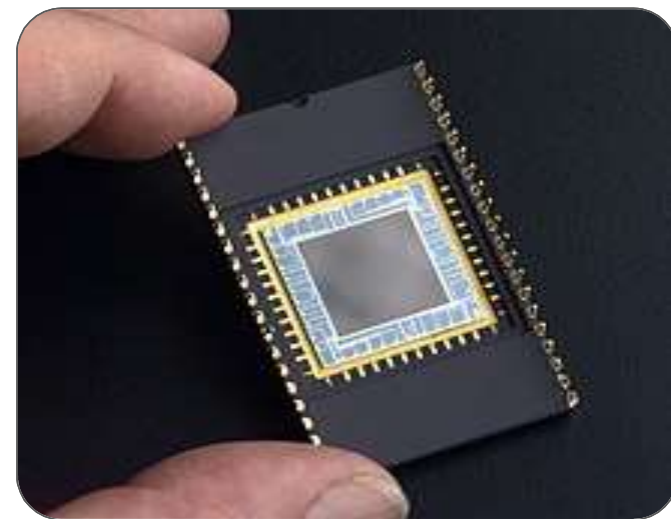
$$0 = E_{\text{fóton}} - W$$

$$E_{\text{fóton}} = W$$

$$h \cdot f_0 = W \quad \rightarrow \quad f_0 = \frac{W}{h}$$



4. Aplicações do Efeito Fotoelétrico: dispositivo de carga acoplada



4. Aplicações do Efeito Fotoelétrico: dispositivo de carga acoplada



Exercícios

1. (Fuvest 2016) Lasers pulsados de altíssima potência estão sendo construídos na Europa. Esses lasers emitirão pulsos de luz verde, e cada pulso terá 10^{15} W de potência e duração de cerca de $30 \cdot 10^{-15}$ s. Com base nessas informações, determine

- a) o comprimento de onda λ da luz desse laser;
- b) a energia E contida em um pulso;
- c) o intervalo de tempo Δt durante o qual uma lâmpada LED de 3W deveria ser mantida acesa, de forma a consumir uma energia igual à contida em cada pulso;
- d) o número N de fótons em cada pulso.

Note e adote:

Frequência da luz verde: $f = 0,6 \cdot 10^{15}$ Hz

Velocidade da luz = $3 \cdot 10^8$ m/s

Energia do fóton: $E = h \cdot f$

$h = 6 \cdot 10^{-34}$ J.s

1. (Fuvest 2016) Lasers pulsados de altíssima potência estão sendo construídos na Europa. Esses lasers emitirão pulsos de luz verde, e cada pulso terá 10^{15} W de potência e duração de cerca de $30 \cdot 10^{-15}$ s. Com base nessas informações, determine

a) o comprimento de onda λ da luz desse laser;

Rascunho

$$v = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = ?$$

$$3 \cdot 10^8 = \lambda \cdot 0,6 \cdot 10^{15}$$

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{0,6 \cdot 10^{15}} \Rightarrow \lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$v = \lambda \cdot f$$

Note e adote:

Frequência da luz verde: $f = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

Velocidade da luz = $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Energia do fóton: $E = h \cdot f$

$h = 6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

1. (Fuvest 2016) Lasers pulsados de altíssima potência estão sendo construídos na Europa. Esses lasers emitirão pulsos de luz verde, e cada pulso terá 10^{15} W de potência e duração de cerca de $30 \cdot 10^{-15}$ s. Com base nessas informações, determine

b) a energia E contida em um pulso;

Rascunho

Para um pulso $E = ?$

$$P = 10^{15} \text{ W}$$

$$\Delta t = 30 \cdot 10^{-15} \text{ s}$$

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$E = P \cdot \Delta t$$

$$E = 10^{15} \cdot 30 \cdot 10^{-15}$$

$$E = 30 \text{ J}$$

Note e adote:

Frequência da luz verde: $f = 0,6 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$

Velocidade da luz = $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Energia do fóton: $E = h \cdot f$

$h = 6 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$

1. (Fuvest 2016) Lasers pulsados de altíssima potência estão sendo construídos na Europa. Esses lasers emitirão pulsos de luz verde, e cada pulso terá 10^{15} W de potência e duração de cerca de $30 \cdot 10^{-15}$ s. Com base nessas informações, determine

c) o intervalo de tempo Δt durante o qual uma lâmpada LED de 3W deveria ser mantida acesa, de forma a consumir uma energia igual à contida em cada pulso;

Rascunho

Para uma lâmpada

$$P = 3W$$

$$E = 30 J \quad \Delta t = ?$$

$$P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{E}{P}$$

$$\Delta t = \frac{30}{3}$$

$$\Delta t = 10 s$$

Note e adote:

Frequência da luz verde: $f = 0,6 \cdot 10^{15}$ Hz

Velocidade da luz = $3 \cdot 10^8$ m/s

Energia do fóton: $E = h \cdot f$

$h = 6 \cdot 10^{-34}$ J.s

1. (Fuvest 2016) Lasers pulsados de altíssima potência estão sendo construídos na Europa. Esses lasers emitirão pulsos de luz verde, e cada pulso terá 10^{15} W de potência e duração de cerca de $30 \cdot 10^{-15}$ s. Com base nessas informações, determine

d) o número N de fótons em cada pulso.

Rascunho

Para um fóton

$$E_{fóton} = hf$$

Para um feixe

$$E_{feixe} = 30 \text{ J}$$

N fótons

$$E_{feixe} = N \cdot E_{fóton}$$

$$E_{feixe} = N \cdot E_{fóton}$$

$$E_{feixe} = N \cdot h \cdot f$$

$$30 = N \cdot 6 \cdot 10^{-34} \cdot 0,6 \cdot 10^{15}$$

$$30 = N \cdot 3,6 \cdot 10^{-19}$$

$$N = \frac{30}{3,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$N \cong 8,3 \cdot 10^{19} \text{ fótons}$$

Note e adote:

Frequência da luz verde: $f = 0,6 \cdot 10^{15}$ Hz

Velocidade da luz = $3 \cdot 10^8$ m/s

Energia do fóton: $E = h \cdot f$

$h = 6 \cdot 10^{-34}$ J.s

2. (Fuvest 2012) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa de sódio com energia cinética máxima $E_{c \text{ elét}} = E_{fóton} - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E_{fóton} = h f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação. Determine

- a) a frequência f da radiação incidente na placa de sódio;
- b) a energia E de um fóton dessa radiação;
- c) a energia cinética máxima E_c de um elétron que escapa da placa de sódio;
- d) a frequência f_0 da radiação eletromagnética, abaixo da qual é impossível haver emissão de elétrons da placa de sódio.

NOTE E ADOTE

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.

W (sódio) = 2,3 eV.

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

2. (Fuvest 2012) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa de sódio com energia cinética máxima $E_{c \text{ elét}} = E_{\text{fóton}} - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E_{\text{fóton}} = h f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação. Determine

a) a frequência f da radiação incidente na placa de sódio;

Rascunho

$$\lambda = 300 \text{ nm}$$

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = ?$$

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$f = \frac{3 \cdot 10^8}{300 \cdot 10^{-9}} \Rightarrow f = 0,01 \cdot 10^{17} \text{ Hz} \Rightarrow \boxed{f = 10^{15} \text{ Hz}}$$

NOTE E ADOTE

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$.

W (sódio) = 2,3 eV.

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

2. (Fuvest 2012) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa de sódio com energia cinética máxima $E_{c \text{ elét}} = E_{fóton} - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E_{fóton} = h f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação. Determine

b) a energia E de um fóton dessa radiação;

Rascunho

$$E = ?$$

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$$

$$E_{fóton} = h \cdot f$$

$$f = 10^{15} \text{ Hz}$$

$$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot s$$

$$E_{fóton} = h \cdot f$$

$$E_{fóton} = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot s \times 10^{15} \frac{1}{s}$$



$$E_{fóton} = 4 \text{ eV}$$

NOTE E ADOTE

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot s$$

$$W \text{ (sódio)} = 2,3 \text{ eV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

2. (Fuvest 2012) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento em que radiação eletromagnética de comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons. Os elétrons escapam da placa de sódio com energia cinética máxima $E_{c \text{ elét}} = E_{fóton} - W$, sendo E a energia de um fóton da radiação e W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é $E_{fóton} = h f$, sendo h a constante de Planck e f a frequência da radiação. Determine

c) a energia cinética máxima E_c de um elétron que escapa da placa de sódio;

Rascunho

$$E_C = ?$$

$$E_C = E - W$$

$$E_{fóton} = 4 \text{ eV}$$

$$W = 2,3 \text{ eV}$$

$$E_C = E_{fóton} - W$$

$$E_C = 4 - 2,3$$

$$E_C = 1,7 \text{ eV}$$

NOTE E ADOTE

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV.s}$.

W (sódio) = 2,3 eV.

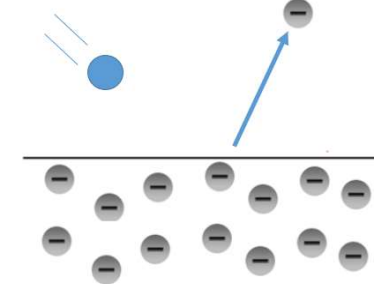
$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

$$E_{fóton} = 4 \text{ eV}$$

Fóton incidente

$$E_C = 1,7 \text{ eV}$$

Elétron arrancado



$$W = 2,3 \text{ eV}$$

2. (Fuvest 2012) Em um laboratório de física, estudantes fazem um experimento. Um comprimento de onda $\lambda = 300 \text{ nm}$ incide em uma placa de sódio, provocando a emissão de elétrons com energia cinética máxima $E_{c \text{ elét}} = E_{fóton} - W$, sendo W a energia mínima necessária para extrair um elétron da placa. A energia de cada fóton é dada por $E_{fóton} = h \cdot f$, onde h é a constante de Planck e f a frequência da radiação. Determine

d) a frequência f_0 da radiação eletromagnética, abaixo da qual é impossível haver emissão de elétrons da placa de sódio.

Rascunho

- Para um elétron ser arrancado

$$E_{fóton} \geq W$$

- Para um elétron não ser arrancado

$$E_{fóton} < W$$

NOTE E ADOTE

Velocidade da radiação eletromagnética: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

$h = 4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$.

W (sódio) = $2,3 \text{ eV}$.

$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

$$E_{fóton} = W$$

$$h \cdot f_0 = W$$

$$4 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \cdot f_0 = 2,3 \text{ eV} \Rightarrow f_0 = \frac{2,3}{4 \cdot 10^{-15}} \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

$$f_0 = 0,575 \cdot 10^{15}$$

$$f_0 = 5,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Cálculo da frequência (f_0) mínima para ocorrer o Efeito Fotoelétrico

- Nesse caso o fóton tem energia suficiente apenas para arrancar um elétron.
- O elétron é ejetado com $E_{c \text{ elétron}} = 0$.

$$E_{c \text{ elétron}} = E_{fóton} - W$$

$$0 = E_{fóton} - W$$

$$E_{fóton} = W$$

$$h \cdot f_0 = W \Rightarrow f_0 = \frac{W}{h}$$