Introducción a la física moderna

David Matellano

Departamento de Física y Química. IES Ángel Corella. (Colmenar Viejo)

28 de abril de 2017

índice de contenidos I

Naturaleza de la luz

Dualidad onda-corpúsculo

¿Onda o corpúsculo?

¿ Naturaleza de la luz?

¿ Es una onda?

¿Son partículas?

Naturaleza de la luz

Dualidad onda-corpúsculo

¿Onda o corpúsculo?

¿ Naturaleza de la luz?

¿ Es una onda?

¿Son partículas?

Naturaleza de la luz

Dualidad onda-corpúsculo

¿Onda o corpúsculo?

¿ Naturaleza de la luz?

¿ Es una onda?

¿Son partículas?

Naturaleza de la luz

Dualidad onda-corpúsculo

¿Onda o corpúsculo?

¿ Naturaleza de la luz?

¿ Es una onda?

¿Son partículas?

Dualidad onda-corpúsculo

Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.

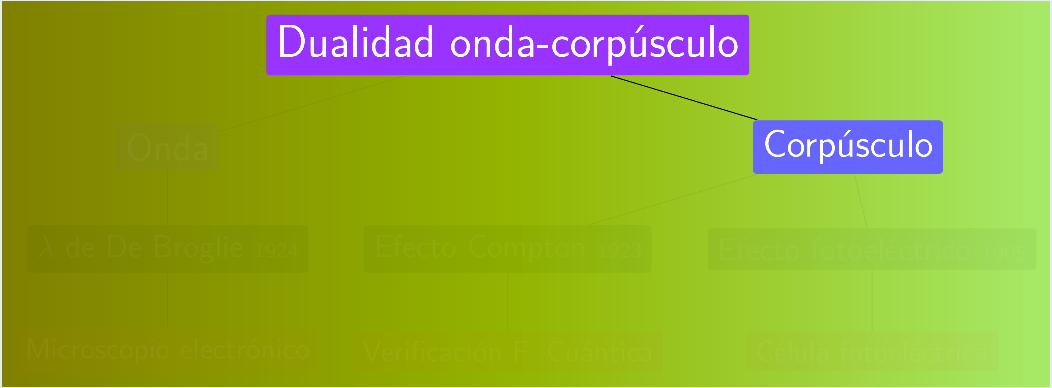
Dualidad onda-corpúsculo

- Onda
  - λ de De Broglie 1924
    - Microscopio electrónico
- Corpúsculo
  - Efecto Compton 1923
    - Verificación F. Cuántica
  - Efecto fotoeléctrico 1905
    - Célula fotoeléctrica

Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

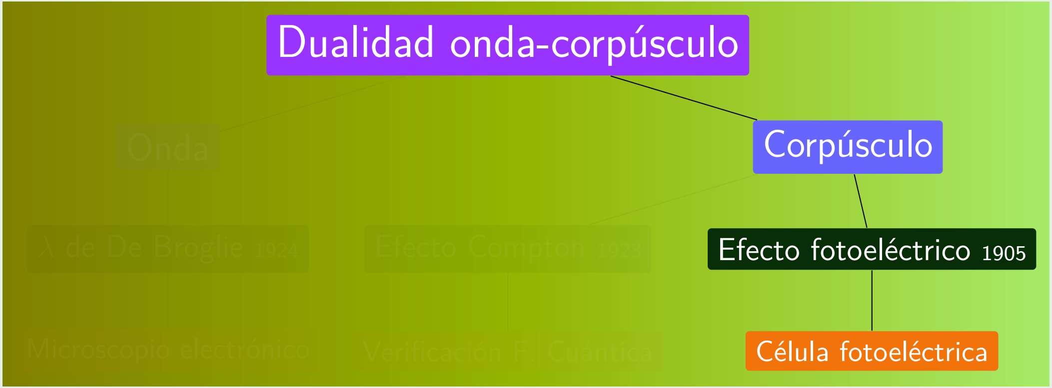
Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.

- Dualidad onda-corpúsculo
  - Onda
    - λ de De Broglie 1924
      - Microscopio electrónico
  - Corpúsculo
    - Efecto Compton 1923
      - Verificación F. Cuántica
    - Efecto fotoeléctrico 1905
      - Célula fotoeléctrica

Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

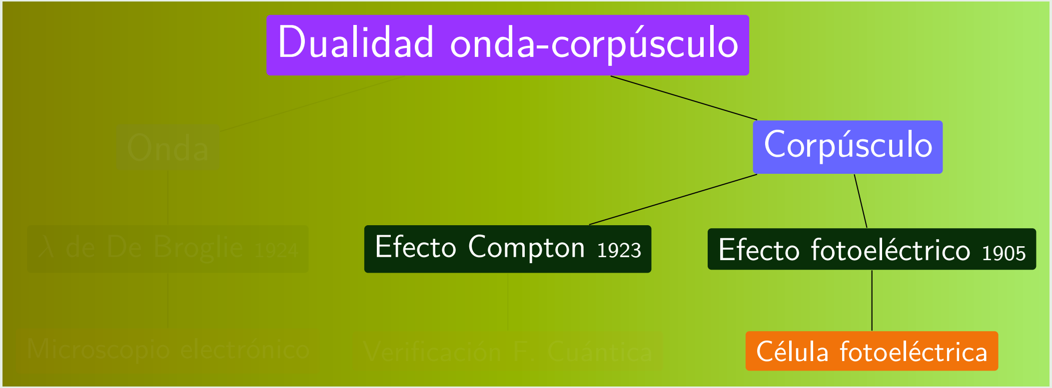
Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

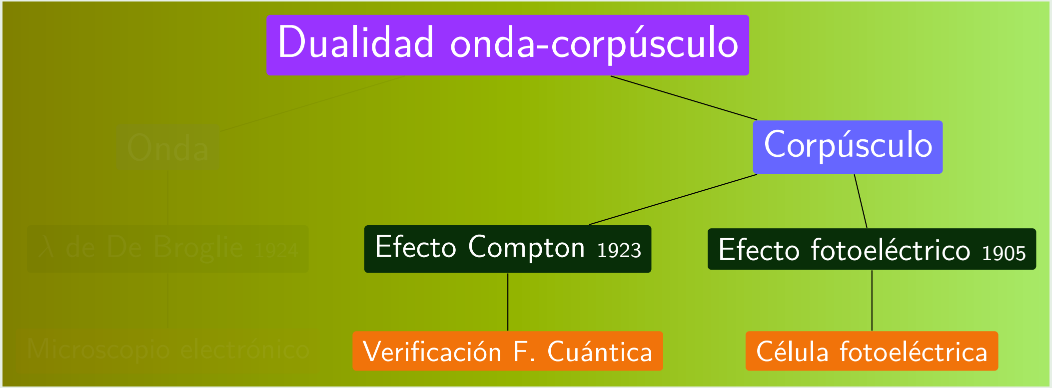
Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

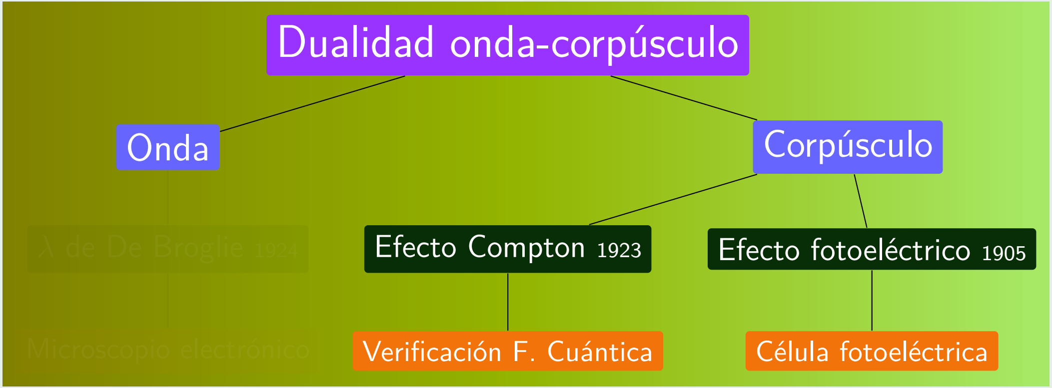
Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

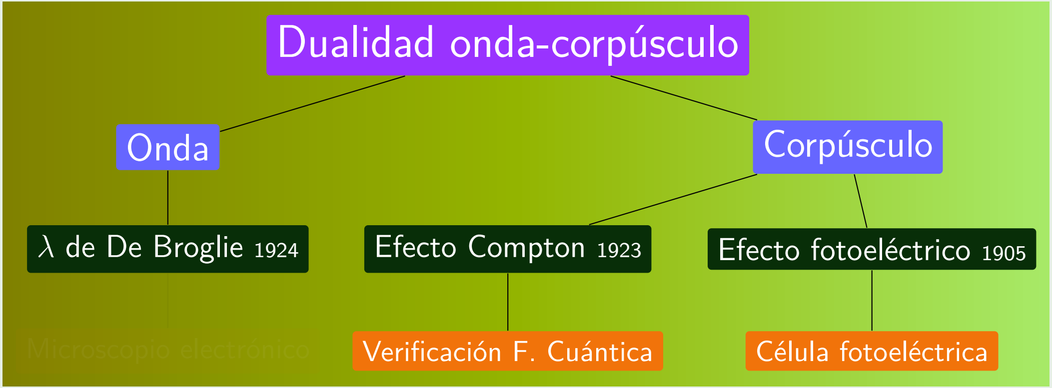
Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

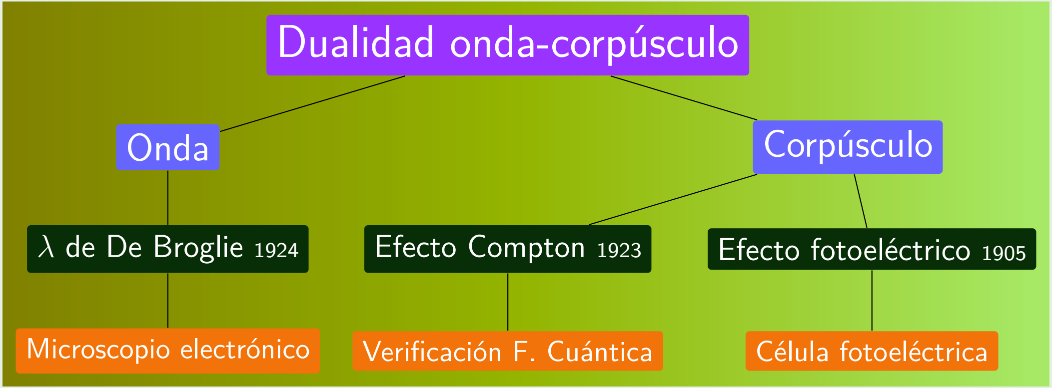
Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



Tres grandes descubrimientos.

Comprobación experimental de la dualidad onda-corpúsculo.

Electrones *como ondas* y ondas *como partículas*.



El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

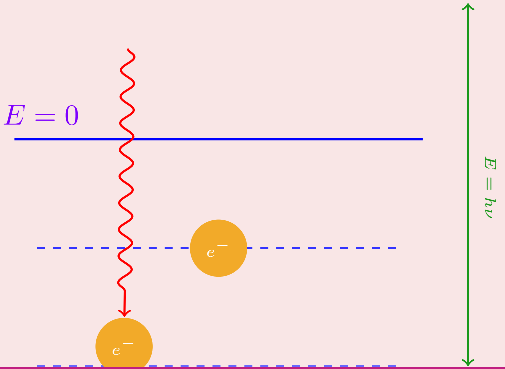
El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

1. Sobre un metal incide un fotón con energía $E = h\nu$

figuras:



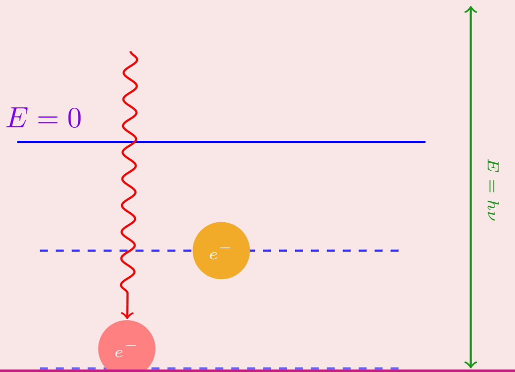
El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

1. Sobre un metal incide un fotón con energía $E = h\nu$
2. El fotón choca con un electrón.

figuras:



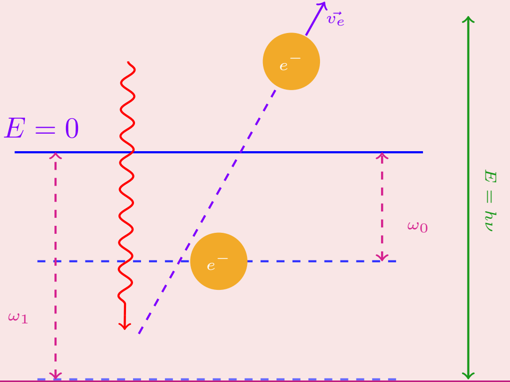
El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

1. Sobre un metal incide un fotón con energía $E = h\nu$
2. El fotón choca con un electrón.
3. Si $h\nu > \omega_0 \Rightarrow$ sale e^-

figuras:



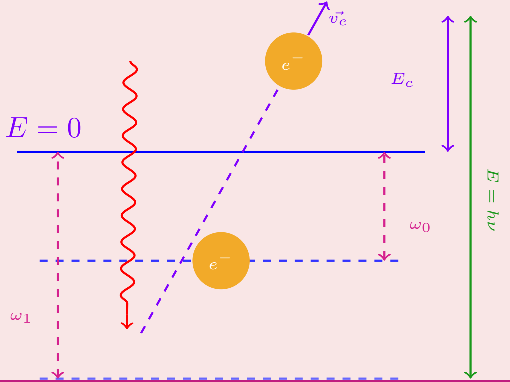
El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

1. Sobre un metal incide un fotón con energía $E = h\nu$
2. El fotón choca con un electrón.
3. Si $h\nu > \omega_0 \Rightarrow$ sale e^-
4. $E_c = E - \omega_1 = h\nu - \omega_1$

figuras:



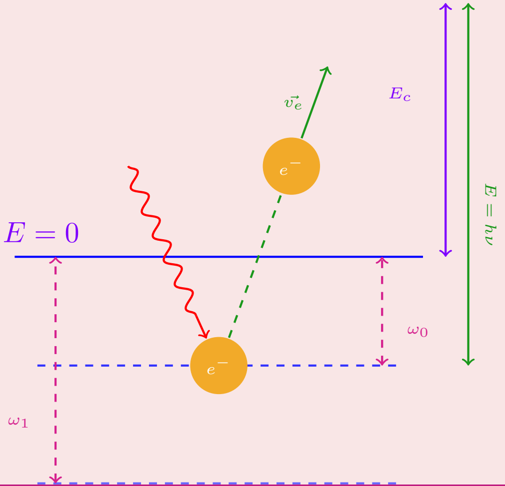
El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

1. Sobre un metal incide un fotón con energía $E = h\nu$
2. El fotón choca con un electrón.
3. Si $h\nu > \omega_0 \Rightarrow$ sale e^-
4. $E_c = E - \omega_1 = h\nu - \omega_1$
5. $E_{c_{max}} = h\nu - \omega_0$

figuras:



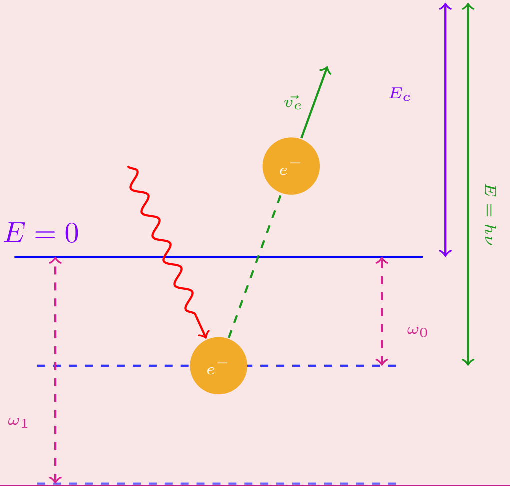
El efecto fotoeléctrico

Extracción de fotoelectrones.

Breve descripción

1. Sobre un metal incide un fotón con energía $E = h\nu$
2. El fotón choca con un electrón.
3. Si $h\nu > \omega_0 \Rightarrow$ sale e^-
4. $E_c = E - \omega_1 = h\nu - \omega_1$
5. $E_{c_{max}} = h\nu - \omega_0$
6. $V_{frenado} = \dfrac{E_{c_{max}}}{|q_e|} = E_{c_{max}}\ (eV)$

figuras:



El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

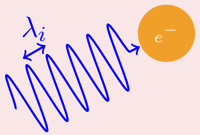
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.

Figuras



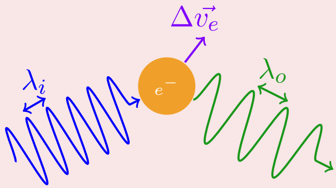
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.
2. Tras chocar, el fotón aumenta λ.

Figuras



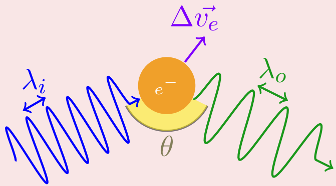
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.
2. Tras chocar, el fotón aumenta λ.
3. $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$

Figuras



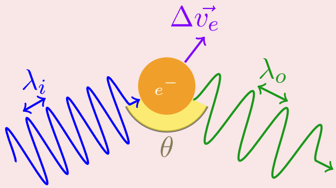
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.
2. Tras chocar, el fotón aumenta λ.
3. $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$

Figuras



Explicación

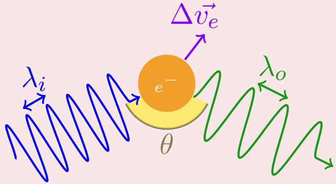
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.
2. Tras chocar, el fotón aumenta λ.
3. $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$

Figuras



Explicación

- El fotón choca con el electrón y le cede parte de su energía.

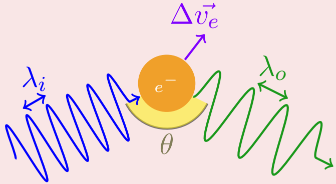
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.
2. Tras chocar, el fotón aumenta λ.
3. $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$

Figuras



Explicación

- El fotón choca con el electrón y le cede parte de su energía.
- El fotón así obtenido es menos energético, por lo que tiene mayor longitud de onda.

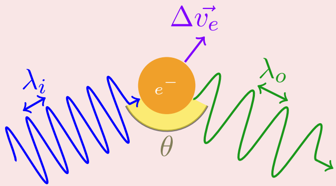
El efecto Compton

Choque de un fotón y un electrón

Un hallazgo *sorprendente*

1. Un fotón incide contra un e^- exterior.
2. Tras chocar, el fotón aumenta λ.
3. $\Delta\lambda = \dfrac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$

Figuras



Explicación

- El fotón choca con el electrón y le cede parte de su energía.
- El fotón así obtenido es menos energético, por lo que tiene mayor longitud de onda.
- A mayor desviación, menor energía del fotón.

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

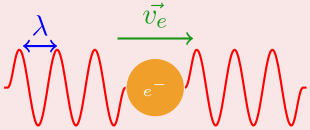
Postulado

- Todo cuerpo en movimiento lleva asociada una onda cuya longitud de onda es inversamente proporcional a su cantidad de movimiento.

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-

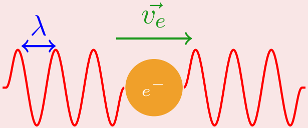


Consideraciones:

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-



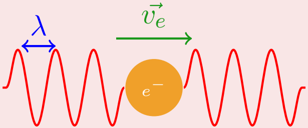
Consideraciones:

1. $\lambda_b = \dfrac{h}{|\vec{p}|}$

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-



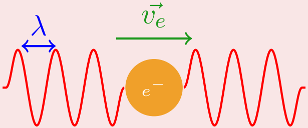
Consideraciones:

1. $\lambda_b = \dfrac{h}{|\vec{p}|}$
   - Si $|\vec{v}| \ll c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m \cdot |\vec{v}|}$

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-



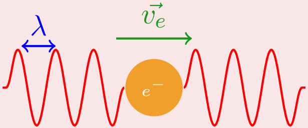
Consideraciones:

1. $\lambda_b = \dfrac{h}{|\vec{p}|}$
   - Si $|\vec{v}| \ll c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m \cdot |\vec{v}|}$
   - Si $|\vec{v}| \lesssim c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m_o \cdot \gamma \cdot |\vec{v}|}$

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-



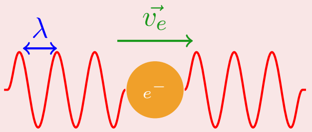
Consideraciones:

1. $\lambda_b = \dfrac{h}{|\vec{p}|}$
   - Si $|\vec{v}| \ll c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m \cdot |\vec{v}|}$
   - Si $|\vec{v}| \lesssim c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m_o \cdot \gamma \cdot |\vec{v}|}$
2. Partículas como e^- actúan como ondas.

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-



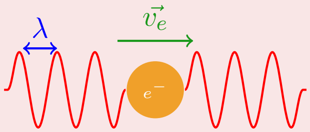
Consideraciones:

1. $\lambda_b = \dfrac{h}{|\vec{p}|}$
   - Si $|\vec{v}| \ll c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m \cdot |\vec{v}|}$
   - Si $|\vec{v}| \lesssim c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m_o \cdot \gamma \cdot |\vec{v}|}$
2. Partículas como e^- actúan como ondas.
3. Realizan fenómenos ondulatorios, como la difracción.

Longitud de onda de *De Broglie*

Onda asociada a una partícula en movimiento.

λ asociada a un e^-



Consideraciones:

1. $\lambda_b = \dfrac{h}{|\vec{p}|}$
   - Si $|\vec{v}| \ll c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m \cdot |\vec{v}|}$
   - Si $|\vec{v}| \lesssim c \Rightarrow \lambda_b = \dfrac{h}{m_o \cdot \gamma \cdot |\vec{v}|}$
2. Partículas como e^- actúan como ondas.
3. Realizan fenómenos ondulatorios, como la difracción.
4. Se aplica en el microscopio electrónico.

Definición de β y γ

¿Qué ocurre si $v \to c$?

Parámetros relativistas

Definición de β y γ

¿Qué ocurre si $v \to c$?

Parámetros relativistas

1. Definición: $\beta = \dfrac{v}{c}$

Definición de β y γ

¿Qué ocurre si $v \to c$?

Parámetros relativistas

1. Definición: $\beta = \dfrac{v}{c}$
   - Si $m_0 \neq 0 \Rightarrow \beta < 1$

Definición de β y γ

¿Qué ocurre si $v \to c$?

Parámetros relativistas

1. Definición: $\beta = \dfrac{v}{c}$
   - Si $m_0 \neq 0 \Rightarrow \beta < 1$
2. Definición: $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$

Definición de β y γ

¿Qué ocurre si $v \to c$?

Parámetros relativistas

1. Definición: $\beta = \dfrac{v}{c}$
   - Si $m_0 \neq 0 \Rightarrow \beta < 1$
2. Definición: $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$
   - $\lim\limits_{v \to c} \gamma = \lim\limits_{\beta \to 1} \gamma = \infty$

Cantidad de movimiento relativista

$|\vec{p}|$ y m relativista

Cantidad de movimiento relativista

$|\vec{p}|$ y m relativista

1. Cálculo de $|\vec{p}|$: $p = \dfrac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = m_0 \cdot \gamma \cdot v$

Cantidad de movimiento relativista

$|\vec{p}|$ y m relativista

1. Cálculo de $|\vec{p}|$: $p = \dfrac{m_0 \cdot v}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} = m_0 \cdot \gamma \cdot v$
2. Definimos la masa relativista: $m = m_0 \cdot \gamma$

Energía relativista

Energía cinética y energía en reposo

Energía cinética y energía en reposo

Energía relativista

Energía cinética y energía en reposo

Energía cinética y energía en reposo

- Se define la energía en reposo de un cuerpo: $E_0 = m_0 \cdot c^2$, siendo m_0 su masa en reposo.

Energía relativista

Energía cinética y energía en reposo

Energía cinética y energía en reposo

- Se define la energía en reposo de un cuerpo: $E_0 = m_0 \cdot c^2$, siendo m_0 su masa en reposo.
- La energía de un cuerpo es: $E = mc^2$, siendo m su masa relativista: $m = \gamma \cdot m_0$

Energía relativista

Energía cinética y energía en reposo

Energía cinética y energía en reposo

- Se define la energía en reposo de un cuerpo: $E_0 = m_0 \cdot c^2$, siendo m_0 su masa en reposo.
- La energía de un cuerpo es: $E = mc^2$, siendo m su masa relativista: $m = \gamma \cdot m_0$
- La energía cinética es la diferencia entre ambas energías: $E_c = E - E_0 = m_0 c^2 \cdot (\gamma - 1)$

Defecto de masa

Energía por nucleón

Definición

- Un núcleo es estable si su masa es menor que las partículas que lo forman por separado.
- Ese *defecto de masa* se ha transformado en la energía de enlace.
- $\Delta m = \displaystyle\sum_{i=1}^{A} m_i - m_{núcleo}$, siendo A el número másico.
- La energía de enlace por nucleón será: $E_n = \dfrac{\Delta m \cdot c^2}{A}$

Energía por nucleón

Gráfica

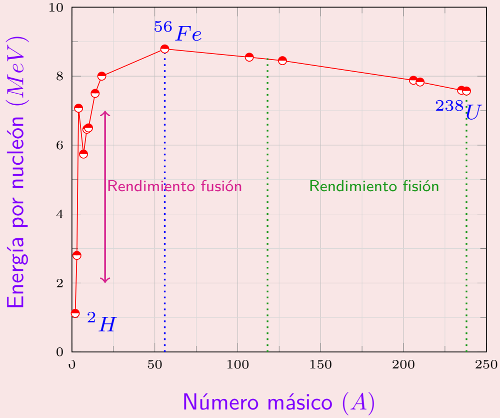
Energía por nucleón

Energía por nucleón
Gráfica

Energía por nucleón

- El valor máximo se alcanza para el ^{56}Fe. $(8,8\ MeV)$

Energía por nucleón según A



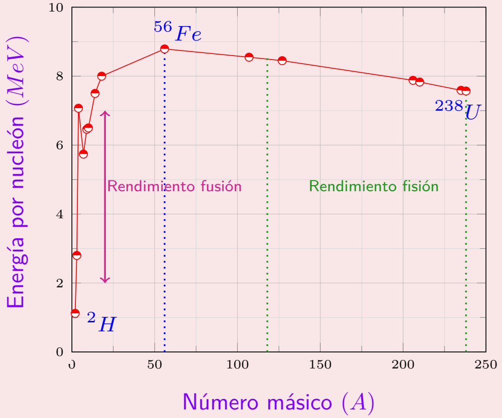
Energía por nucleón

Gráfica

Energía por nucleón

- El valor máximo se alcanza para el ^{56}Fe. $(8,8\ MeV)$
- La fisión nuclear del ^{238}U es rentable energéticamente si se obtienen núcleos con $A \geq 118$

Energía por nucleón según A



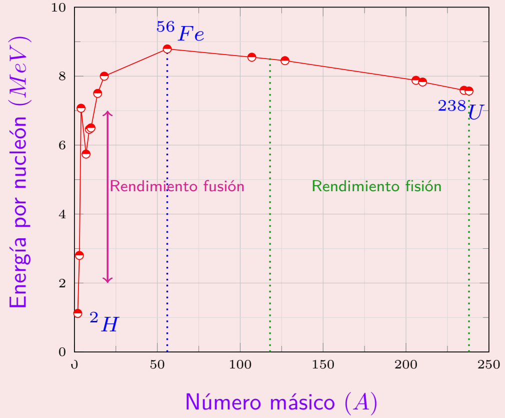
Energía por nucleón

Gráfica

Energía por nucleón

- El valor máximo se alcanza para el ^{56}Fe. $(8,8\ MeV)$
- La fisión nuclear del ^{238}U es rentable energéticamente si se obtienen núcleos con $A \geq 118$
- La fusión nuclear es rentable con núcleos pequeños.

Energía por nucleón según A



Desintegraciones radioactivas

Ley de las desintegraciones radioactivas

Número de nucleos sin desintegrar

Desintegraciones radioactivas

Ley de las desintegraciones radioactivas

Número de nucleos sin desintegrar

- En una muestra radioactiva, el número de núcleos sin desintegrarse será: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$

Desintegraciones radioactivas

Ley de las desintegraciones radioactivas

Número de nucleos sin desintegrar

- En una muestra radioactiva, el número de núcleos sin desintegrarse será: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $N_0 \Rightarrow$ Número inicial de núcleos.

Desintegraciones radioactivas

Ley de las desintegraciones radioactivas

Número de nucleos sin desintegrar

- En una muestra radioactiva, el número de núcleos sin desintegrarse será: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $N_0 \Rightarrow$ Número inicial de núcleos.
- $\lambda \Rightarrow$ Constante radioactiva.

Desintegraciones radioactivas

Ley de las desintegraciones radioactivas

Número de nucleos sin desintegrar

- En una muestra radioactiva, el número de núcleos sin desintegrarse será: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $N_0 \Rightarrow$ Número inicial de núcleos.
- $\lambda \Rightarrow$ Constante radioactiva.
- $\tau \Rightarrow$ Vida media.

Desintegraciones radioactivas

Ley de las desintegraciones radioactivas

Número de nucleos sin desintegrar

- En una muestra radioactiva, el número de núcleos sin desintegrarse será: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$
- $N_0 \Rightarrow$ Número inicial de núcleos.
- $\lambda \Rightarrow$ Constante radioactiva.
- $\tau \Rightarrow$ Vida media.
- $\lambda = \dfrac{1}{\tau}$

Periodo de semidesintegración o semivida

Gráficas

Periodo de semidesintegración

Periodo de semidesintegración o semivida

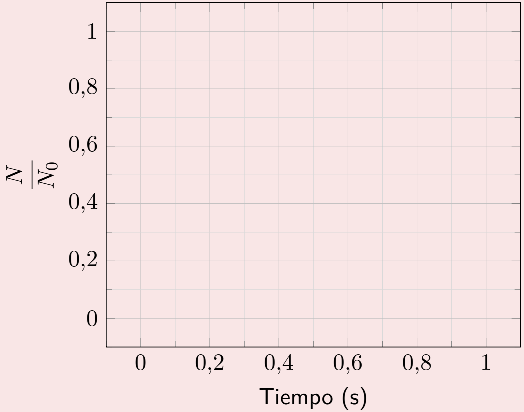
Gráficas

Periodo de semidesintegración

- Es el tiempo necesario para desintegrar la mitad de la muestra.

Gráficas

Gráficas $\frac{N}{N_0}$



Periodo de semidesintegración o semivida

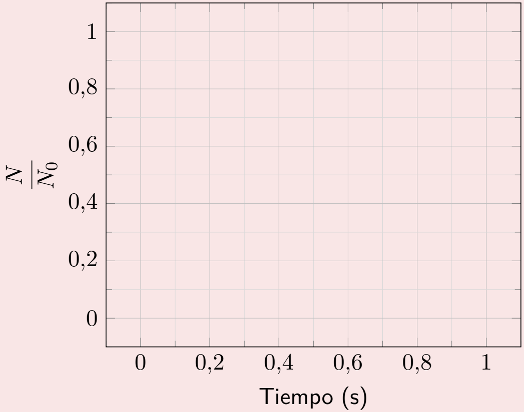
Gráficas

Periodo de semidesintegración

- Es el tiempo necesario para desintegrar la mitad de la muestra.
- $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T} \Rightarrow T = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \cdot \ln(2)$

Gráficas

Gráficas $\frac{N}{N_0}$



Periodo de semidesintegración o semivida

Gráficas

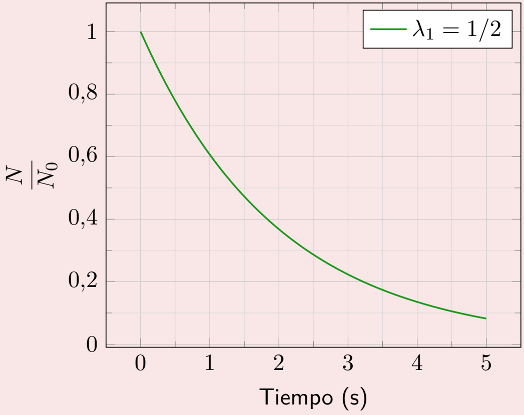
Periodo de semidesintegración

- Es el tiempo necesario para desintegrar la mitad de la muestra.
- $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T} \Rightarrow T = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \cdot \ln(2)$

Gráficas

- $\lambda_1 = \frac{1}{2}\ s^{-1}$

Gráficas $\frac{N}{N_0}$



Periodo de semidesintegración o semivida

Gráficas

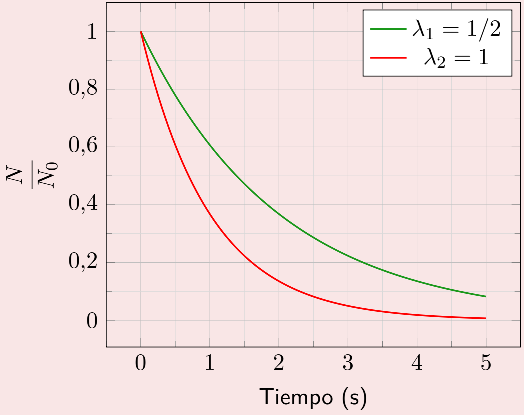
Periodo de semidesintegración

- Es el tiempo necesario para desintegrar la mitad de la muestra.
- $\dfrac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T} \Rightarrow T = \dfrac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \cdot \ln(2)$

Gráficas

- $\lambda_1 = \dfrac{1}{2}\ s^{-1}$
- $\lambda_2 = 1\ s^{-1}$

Gráficas $\dfrac{N}{N_0}$



Periodo de semidesintegración o semivida

Gráficas

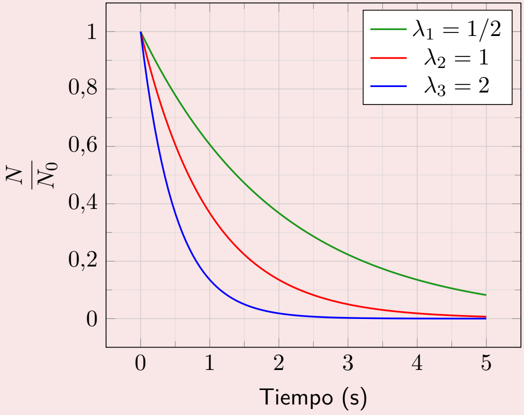
Periodo de semidesintegración

- Es el tiempo necesario para desintegrar la mitad de la muestra.
- $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T} \Rightarrow T = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \cdot \ln(2)$

Gráficas

- $\lambda_1 = \frac{1}{2}\ s^{-1}$
- $\lambda_2 = 1\ s^{-1}$
- $\lambda_3 = 2\ s^{-1}$

Gráficas $\frac{N}{N_0}$



Periodo de semidesintegración o semivida

Gráficas

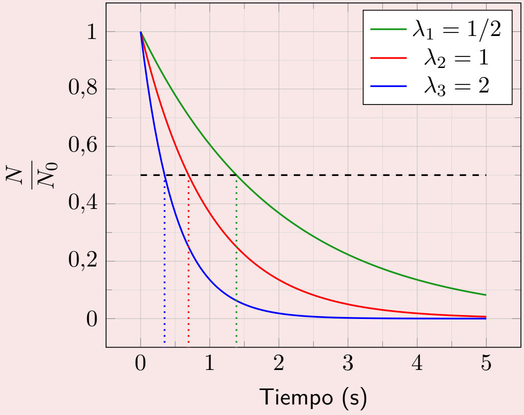
Periodo de semidesintegración

- Es el tiempo necesario para desintegrar la mitad de la muestra.
- $\frac{1}{2} = e^{-\lambda \cdot T} \Rightarrow T = \frac{\ln(2)}{\lambda} = \tau \cdot \ln(2)$

Gráficas

- $\lambda_1 = \frac{1}{2}\ s^{-1}$
- $\lambda_2 = 1\ s^{-1}$
- $\lambda_3 = 2\ s^{-1}$
- Periodos de semidesintegración:

Gráficas $\frac{N}{N_0}$



Actividad de una muestra

Definición

Actividad de una muestra radioactiva:

Actividad de una muestra

Definición

Actividad de una muestra radioactiva:

- Se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo.

Actividad de una muestra

Definición

Actividad de una muestra radioactiva:

- Se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo.
- Su unidad en el sistema internacional es el Bequerel: $1Bq \equiv 1\, des/s$

Actividad de una muestra

Definición

Actividad de una muestra radioactiva:

- Se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo.
- Su unidad en el sistema internacional es el Bequerel: $1 Bq \equiv 1\, des/s$
- Varía con el tiempo según la ley: $A = -\frac{dN(t)}{dt} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

Actividad de una muestra

Definición

Actividad de una muestra radioactiva:

- Se define como el número de desintegraciones por unidad de tiempo.
- Su unidad en el sistema internacional es el Bequerel: $1Bq \equiv 1\,des/s$
- Varía con el tiempo según la ley: $A = -\dfrac{dN(t)}{dt} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$
- En cualquier instate de tiempo: $A(t) = \lambda \cdot N(t)$