



Introducción a la radioactividad

Óptica y Radiaciones

3er Semestre – Tecnólogo en Ingeniería Biomédica

Baldezzari, Lucas Matías – Billordo Javier

11 de mayo de 2020

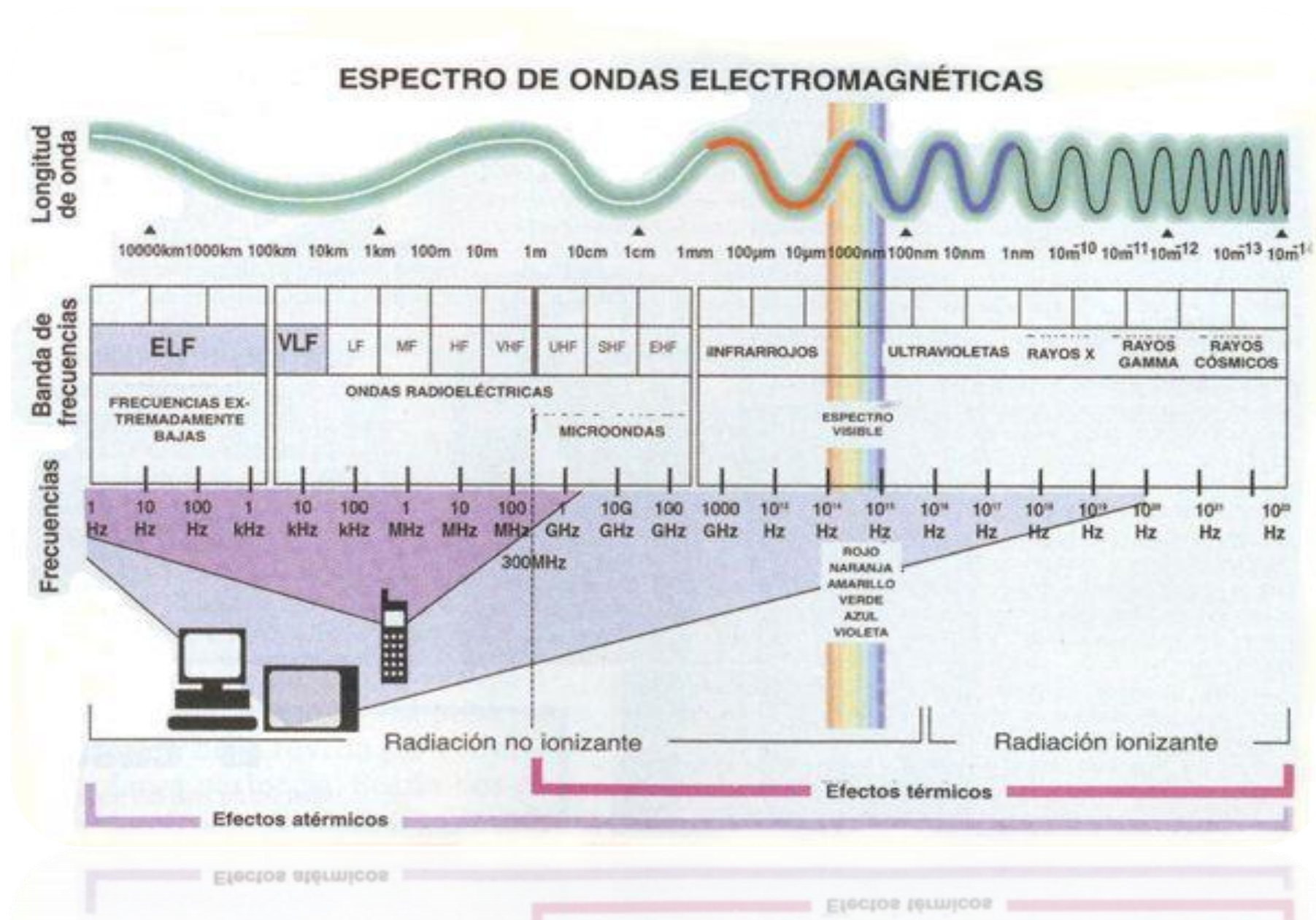


TEMAS

- Principios de física nuclear y atómica.
- Estabilidad nuclear y radioactividad.
- Procesos de decaimiento radiactivo.
- Radiactividad: Actividad, Vida Media.
- Aplicaciones.



El espectro Electromagnético



Principios de la física nuclear y atómica

Unidades y cantidades

Los procesos y propiedades físicas son descriptos en términos de *cantidades*, tales como tiempo o energía.

Las cantidades son medidas en *unidades*, tales como segundos o joules.

- **Cantidad** describe lo que se mide.
- **Unidad** describe cuanto se mide.

¿Qué son las unidades básicas? ¿Qué son las unidades derivadas?



Principios de la física nuclear y atómica

Unidades y cantidades

Los procesos a nivel atómico involucran cantidades de **masa** y **energía**. Debido a que son cantidades pequeñas, utilizamos definiciones especiales.

- **Masa:** Se utiliza la *unidad de masa atómica unificada*, abreviada con la letra ***u***. Un *u* se define como 1/12 de la masa del ^{12}C y es igual a,

$$1u = 1.66054 \times 10^{-27} \text{kg} = 1\text{Da} \quad (1)$$

- **Energía:** Se utiliza el *electron volt*, abreviado ***eV***. Un eV se lo define como la cantidad de energía adquirida por un electrón cuando es acelerado a través de un potencial eléctrico de un voltio.

$$1\text{eV} = 1.6022 \times 10^{-19} \left[\frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2} \right] = 1.6022 \times 10^{-19} [\text{Joules}] \quad (2)$$

Principios de la física nuclear y atómica

Unidades y cantidades

Los procesos a nivel atómico involucran cantidades de **masa** y **energía**. Debido a que son cantidades pequeñas, utilizamos definiciones especiales, entonces.

- **Masa:** Se utiliza la *unidad de masa atómica*, abreviada con la letra ***u***. Un *u* se define como 1/12 de la masa del ^{12}C y es igual a,

$$1u = 1.66054 \times 10^{-27} \text{kg} = 1\text{Da} \quad (1)$$

- **Energía:** Se utiliza el *electron volt*, abreviado ***eV***. Un eV se lo define como la cantidad de energía adquirida por un electrón cuando es acelerado a través de un potencial eléctrico de un voltio.

¿A cuanta energía, en MeV, equivale una masa de $1u$?
(Utilizar la relación de Einstein $E = mc^2$)

Principios de la física nuclear y atómica

Unidades y cantidades

1) ¿A cuanta energía, en MeV , equivale una masa de $1u$?
(Utilizar la relación de Einstein $E = mc^2$)

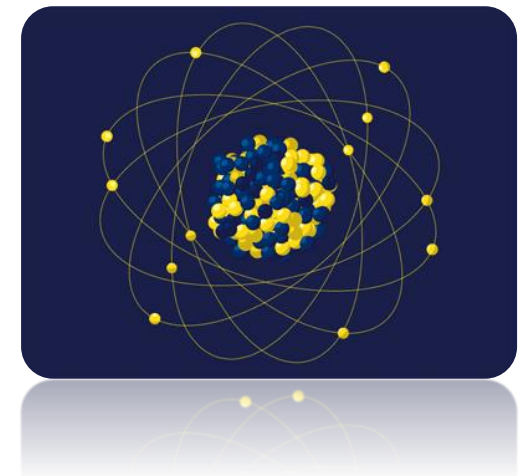


Átomos

Composición y estructura

¿Cómo definimos un átomo?

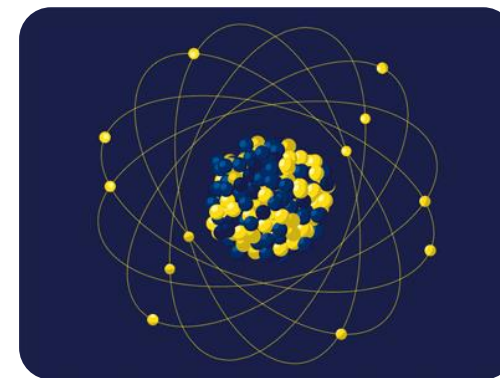
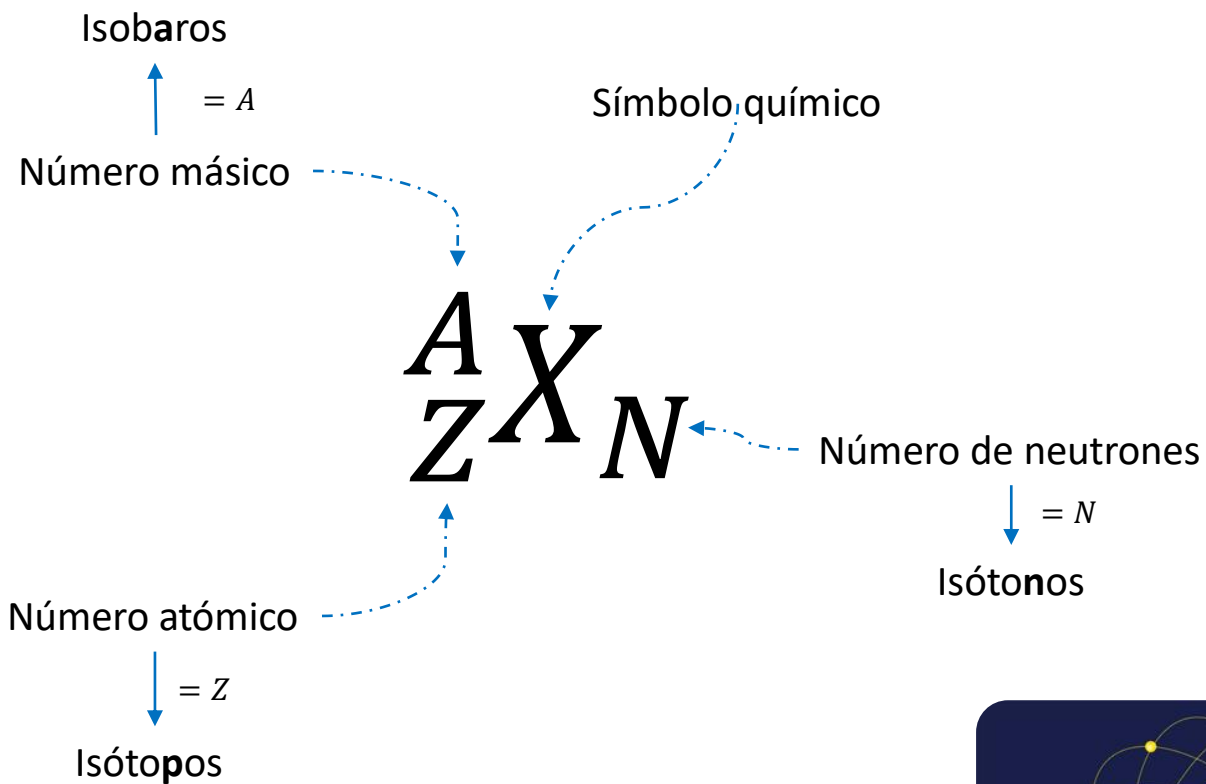
Partícula	Carga	Masa	
		u	MeV
Protón	+1	1.007276	938.272
Neutrón	0	1.008665	939.565
Electrón	-1	0.000549	0.511



Átomos

Composición y estructura

Simbología



¿Qué es un Isótopo? ¿Y un Isóbaro? ¿Y un Isótono?
¿Qué es un elemento?

Átomos

Composición y estructura

El cloro común está compuesto por un 75% de $^{35}_{17}\text{Cl}$ y un 25% de $^{37}_{17}\text{Cl}$. ¿Cuál es la masa atómica del cloro? ¿Qué son $^{35}_{17}\text{Cl}$ y el $^{37}_{17}\text{Cl}$ entre sí?



Átomos

Radio Nuclear

Los núcleos de los átomos se pueden modelar como esferas de radio R que depende del número de nucleones en el núcleo.

La ecuación que define al radio de un núcleo viene dada por

$$R = R_0(A^{1/3})$$

Con $R_0 = 1,2 \times 10^{-15}m$ y A siendo el número de masa.



Átomos

Radio Nuclear

2) Calcule la densidad nuclear para el hierro común el cual es ^{56}Fe . ¿Cuál sería el radio de la tierra si la comprimimos hasta la densidad calculada?

Nota: La densidad se calcula como $\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$ y el peso de la tierra es de $5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$.



Átomos – Estabilidad nuclear

Fuerza Nuclear

¿Qué es la fuerza nuclear?

Es una fuerza atractiva que se sucede en el núcleo de los átomos.

- Es de corto alcance: Radio de acción de $10^{-15}[m]$, o 10 *fentómetros*.
- No depende de la carga: Esta fuerza se ejerce entre los protones, los neutrones y entre los protones y neutrones.
- De muy alta intensidad, unas 100 veces superior a la fuerza electromagnética (repulsión entre cargas positivas, por ejemplo).



Átomos – Estabilidad nuclear

Energía de enlace nuclear

La masa de un núcleo **siempre** es menor a la suma de las masas de los nucleones que lo conforman. Esta diferencia se conoce como **defecto de masa** y se lo suele representar cómo Δm .

La **energía de enlace nuclear**, E_B , es la mínima energía que se necesita para descomponer un elemento en cada una de sus partes constitutivas.

$$E_B = \Delta mc^2 \quad (4)$$

Si consideramos $c^2 = 931,494[MeV/u]$, entonces la ecuación anterior es,

$M(H)$ es la masa atómica del hidrógeno 1_1H

$M({}^A_ZX)$ es la masa atómica del isótopo A_ZX

$$E_B = [ZM(H) + Nm_n - M({}^A_ZX)] \times 931,494[MeV/u] \quad (5)$$

m_n es la masa del neutrón

Átomos – Estabilidad nuclear

Energía de enlace nuclear

3) ¿Cuál es la energía de enlace del ^{12}C ? ¿Cuál es la energía de enlace por nucleón del ^{12}C ?



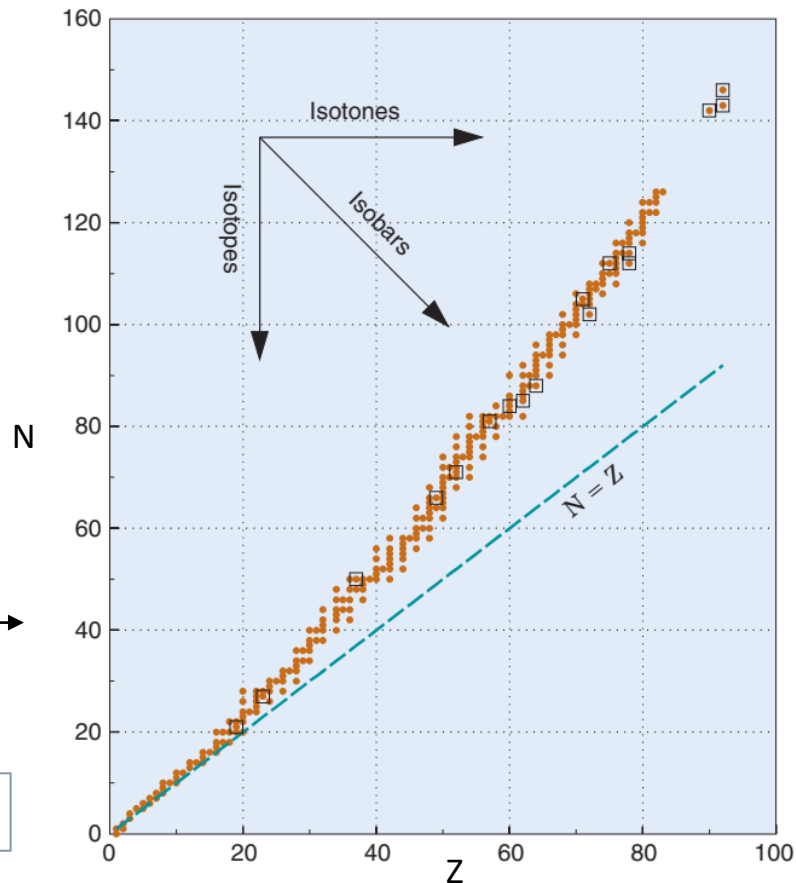
Nota: La energía de enlace nuclear es mayor a la energía de enlaces entre átomos. La primera es del orden de los MeV y la segunda del orden de los eV .

Átomos – Estabilidad nuclear

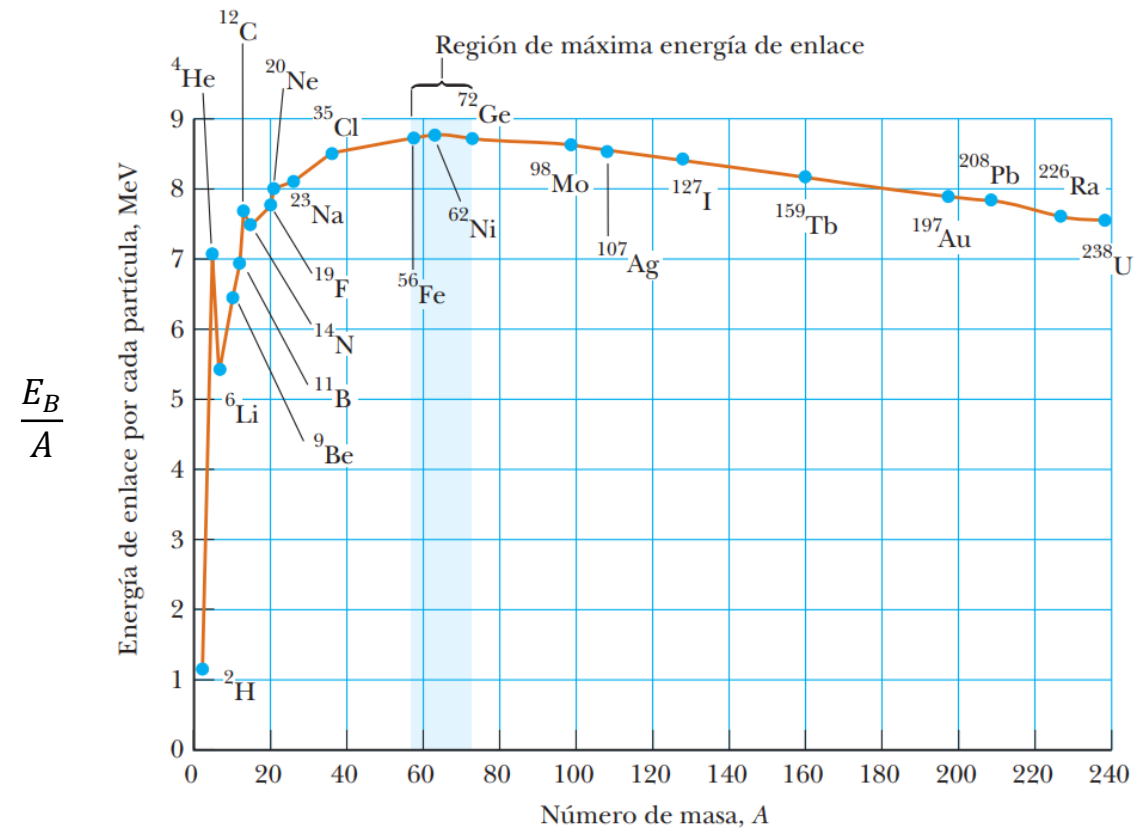
Estabilidad nuclear

No todas las combinaciones de protones y neutrones producen núcleos estables.

Un núcleo inestable emite partículas o fotones para transformarse en un núcleo mas estable. Este proceso se llama **desintegración radiactiva** o **decaimiento radiactivo**.



Gráfica de Segré



Átomos – Estabilidad nuclear

Estabilidad nuclear

4) El ${}^4_2\text{He}$ posee una energía de enlace de $28,296\text{MeV}$. Calcular la energía en Joules que se desprende cuando se forman $0,5\text{g}$ de helio a partir de protones y neutrones que se encuentran libres. ¿Cuántos kilowatts horas son?

Número de Avogadro: $6,023 \times 10^{23} \text{ núcleos/mol}$

Masa atómica del ${}^4_2\text{He}$: $4,00263u$





Time out!

Átomos – Modelo Atómico

Composición y estructura – Modelo Atómico

Modelo atómico de Bohr

Electrones estables orbitando alrededor del núcleo que se agrupan en *capas* (o “*shells*”, llamadas K, L, M, etc).

Los diámetros de estas capas están determinados por *números cuánticos* ($n = 1, 2, 3 \dots$).

Para cada capa con un número cuántico n , la cantidad de electrones permitidos es $2n^2$.

Cada capa tiene $2n - 1$ subestados.



Átomos – Niveles de Energía

Niveles de energía electrónicos

Los electrones pueden ser movidos a capas superiores o removidos completamente del átomo. Para esto debe **aportarse energía**, puede ser por una partícula o por un fotón.

La cantidad de energía necesaria para remover un determinado electrón de alguna de sus capas se denomina **energía de enlace**.

- ✓ Electrones de capas internas poseen mayor energía de enlace ($K_B > L_B > M_B$).
- ✓ Mayor cantidad de protones, mayor energía de enlace.



Átomos – Niveles de Energía

Niveles de energía electrónicos

Para pasar un electrón de una capa interna a una externa, la energía necesaria es *exactamente* igual a la *diferencia* de energías de enlace entre dichas capas.

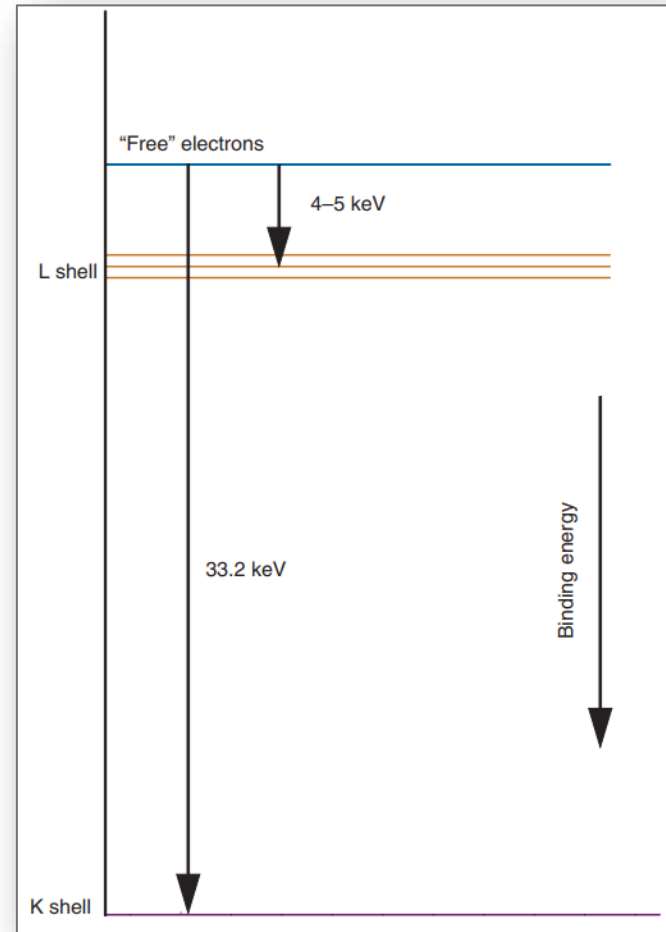


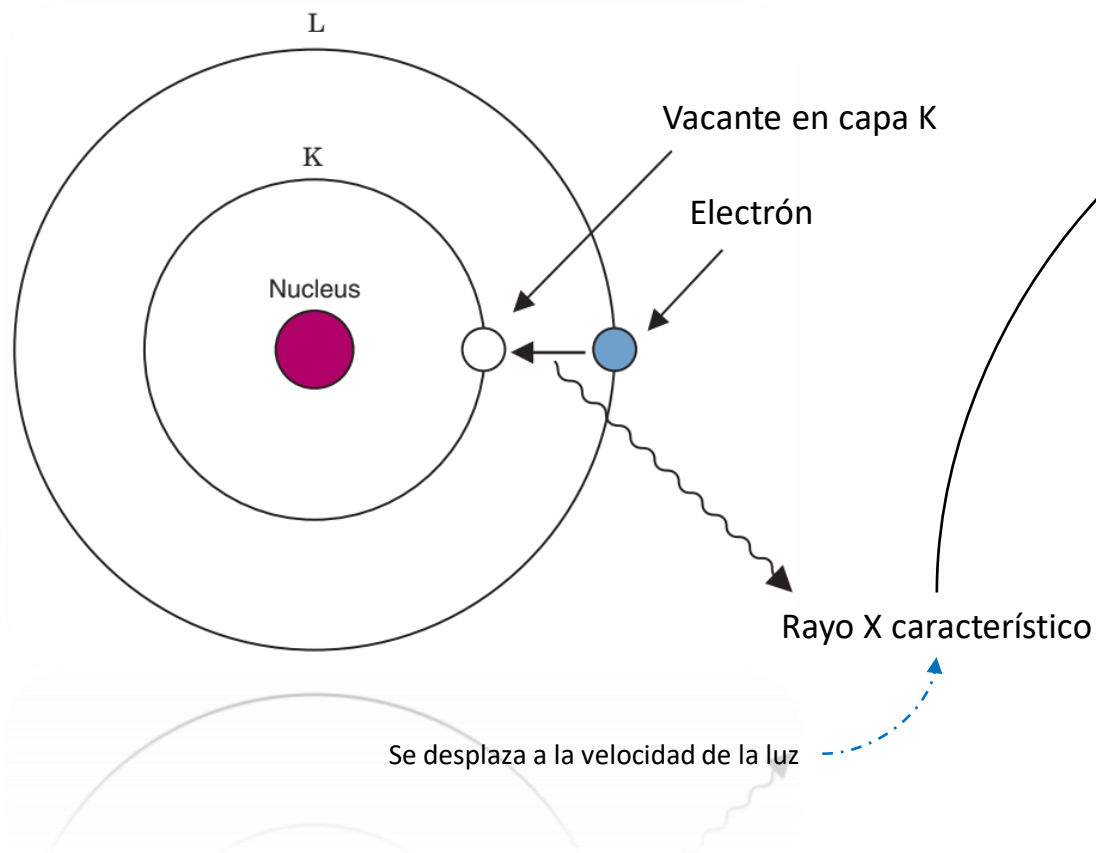
Diagrama de niveles para el Iodo

¿Cuánta energía se necesita para mover un electrón de la capa K a la L?

Átomos – Emisiones Atómicas

Rayos X Característicos

Cuando un electrón es removido de alguna de sus capas, un electrón de una capa superior *llena* el lugar vacío, **liberando energía** en el proceso. Esta energía puede aparecer como un **fotón** de radiación EM.



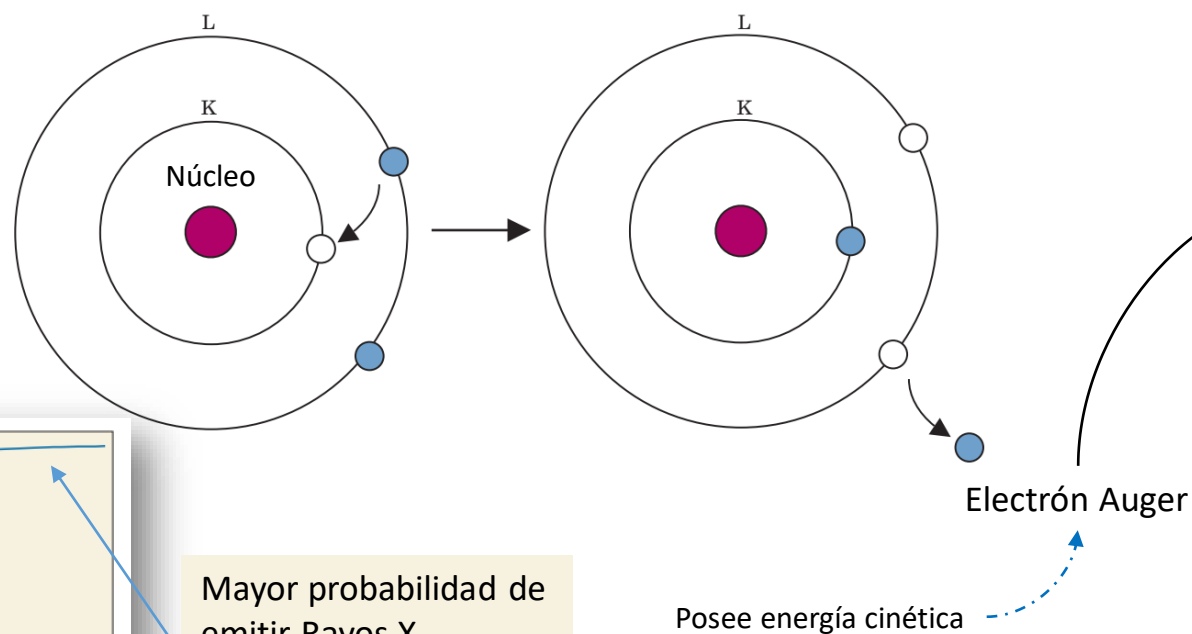
¿Qué energía posee?

La diferencia entre las energías de enlace de las capas L y K
 $E = K_B - L_B$

Átomos – Emisiones Atómicas

Electrón Auger

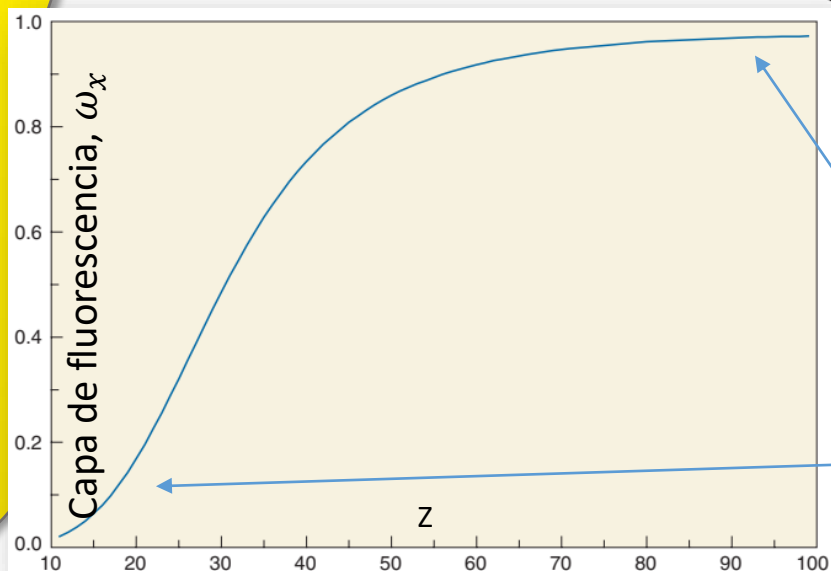
La energía de transición es transmitida a otro electrón, liberándolo de su capa. Dicho electrón se llama, **electrón Auger**.



¿Qué valor de energía posee?

$$E = K_B - 2L_B$$

Representación
 $e_{abc} \Rightarrow e_{KLL}$

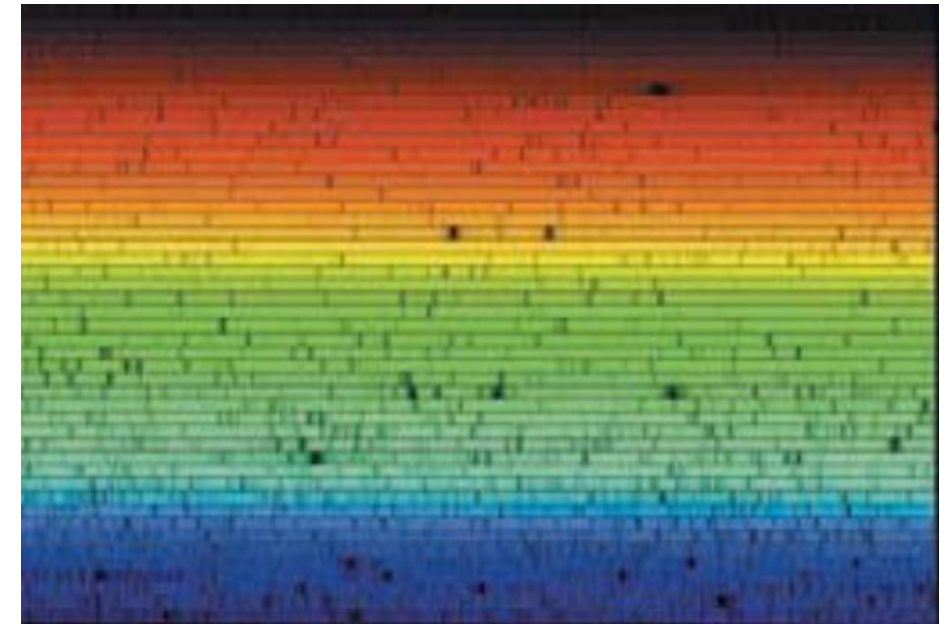
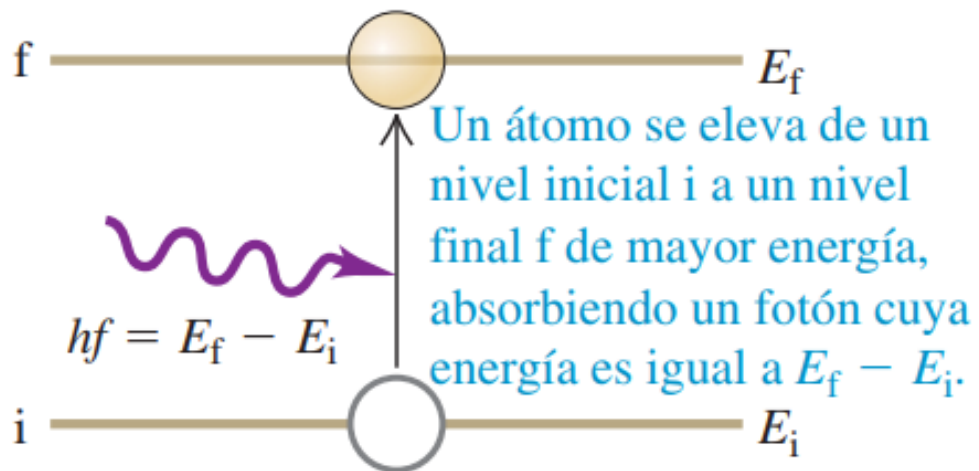


Átomos – Absorción de un Fotón

Espectro de absorción

Es posible que un átomo absorba un *fotón* produciendo un estado excitado. Por ejemplo, el átomo de *sodio* puede absorber fotones de 589nm y $589,6\text{nm}$. Pasados unos $1,6 \times 10^{-8}\text{segundos}$ el átomo decae a un estado más estebe emitiendo fotones, que pueden ser absorbidos nuevamente.

Si hacemos pasar luz blanca por un gas y analizamos la luz *transmitida* con un espectrómetro, podremos ver líneas negras que se corresponden a las longitudes de onda absorbidas. Esto se llama **espectro de absorción**.





Time out!



Introducción a la radioactividad

Segunda Parte

Óptica y Radiaciones

3er Semestre – Tecnólogo en Ingeniería Biomédica

Baldezzari, Lucas Matías – Billordo Javier

25 de mayo de 2020



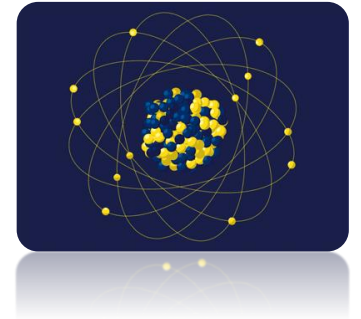
TEMAS

- Principios de física nuclear y atómica.
- Estabilidad nuclear y radioactividad.
- Procesos de decaimiento radiactivo.
- Radiactividad: Actividad, Vida Media.
- Aplicaciones.



Átomos

Fuerzas Nucleares



En el núcleo encontramos dos tipos de fuerzas,

- **Eléctricas** entre protones, fuerzas repulsivas.
- **Nucleares**, fuerzas de atracción. Actúan a muy corta distancia.

El arreglo más estable entre nucleones se llama **estado fundamental** o **estado basal**.

Encontramos también,

- **Estado excitado:** Arreglos de nucleídos inestables de muy corta duración. Pasan de un estado de energía superior, a uno inferior. Símbolo ${}^A X^*$.
- **Estado metaestable:** También son estados inestables, pero poseen relativamente altas vidas medias (10^{-12} seg) antes de pasar a un estado de menor energía. Símbolo ${}^{Am} X$ o X -Am.

Dos nucleídos del mismo tipo pero donde uno es un estado metaestable respecto del otro se llaman **isómeros**.

Átomos

Emisiones nucleares

Es posible excitar un núcleo agregando energía de alguna manera, como ser por un fotón o alguna partícula impactando contra el núcleo.

Cuando un nucleído pasa de un estado excitado a uno de menor energía, se libera energía en el proceso, dando lugar a dos tipos de eventos,

- **Rayos γ :** fotones de radiación EM de alta energía.
- **Conversión interna:** Se transfiere energía desde el núcleo a algún electrón de algún orbital, el cual es emitido por el átomo.



Radiactividad

Introducción

La **radiactividad** es el proceso por el cual un *núcleo inestable* se transforma en uno *mas estable* **liberando energía** en forma de fotones, partículas o ambas.

El decaimiento radiactivo es un proceso **espontaneo**, es decir, no se puede predecir.

Al núcleo inestable se lo suele llamar **padre**, dando resultado un núcleo **hija**. En ciertos casos, el núcleo hija también es inestable y vuelve a decaer.

La radiactividad es un proceso de **conversión de energía**. Los productos resultantes del decaimiento, pesan menos que el núcleo original.

El comportamiento químico de un nucleído no se ve afectado por su actividad radiactiva (al menos no en todos los casos).



Radiactividad

Introducción

Los procesos radiactivos se producen a nivel del núcleo, mientras que las características químicas de un elemento se suceden a nivel de las capas electrónicas superiores.

¿Por qué esto es importante?

Porque el hecho de que un elemento tenga un núcleo radiactivo no afecta sus comportamientos químicos.

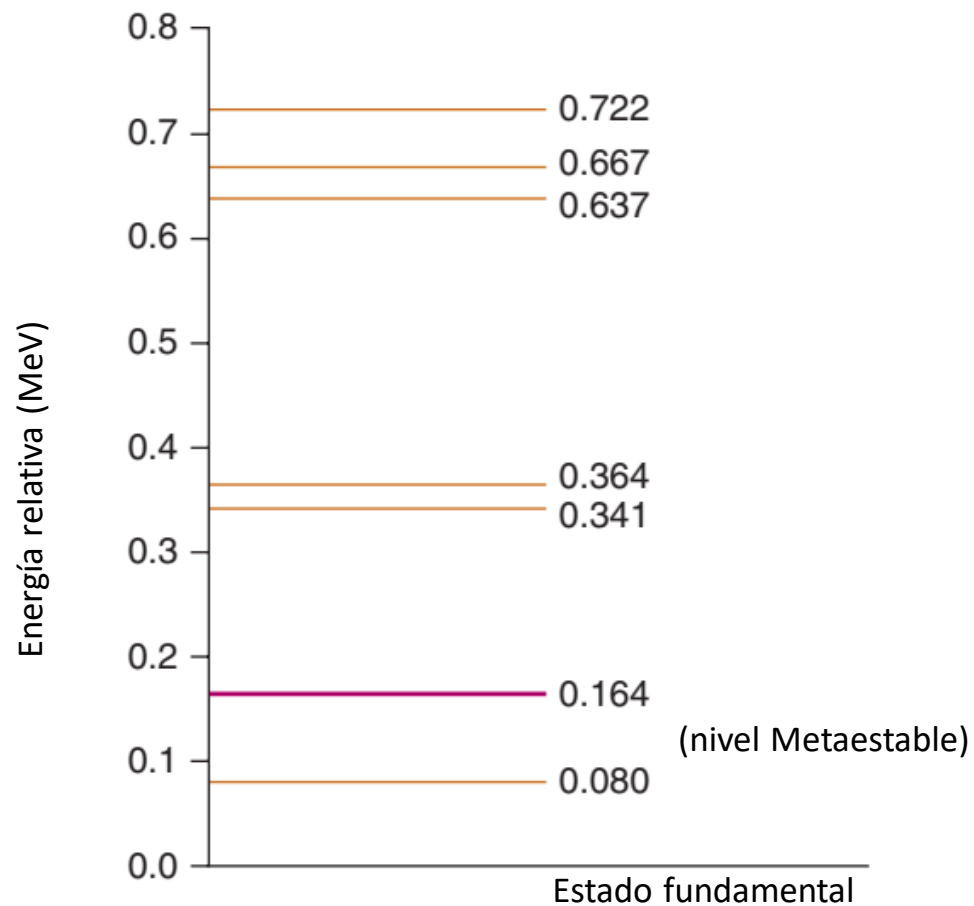
Un ejemplo de estos son el ^{131}I (radiactivo) y el ^{127}I .



Átomos

Fuerzas Nucleares

Diagrama parcial de niveles de energía nucleares para $^{131}\text{Xe}^*$



¿Qué diferencia fundamental vemos entre los estados energéticos nucleares respecto de los electrónicos?

Radiactividad

Tipos de decaimiento

Encontramos tres tipos de decaimiento a nivel nuclear,

- ✓ Decaimiento Alfa
- ✓ Decaimiento Beta (β^+ y β^-)
- ✓ Decaimiento Gamma

Estas radiaciones se caracterizan por su capacidad de penetración de la materia (debido a su masa) y su capacidad de ionizar el aire (debido a su carga eléctrica).

Radiación	Masa	Carga	Poder de penetración	Poder de ionización
Alfa	4u	+2	No penetra una hoja de papel	Muy grande
Beta	1/1840 u	-1	No penetra una hoja de aluminio de algunos mm	Menor que la Alfa
Gamma	0	0	Se necesitan bloques de plomo	Muy pequeño

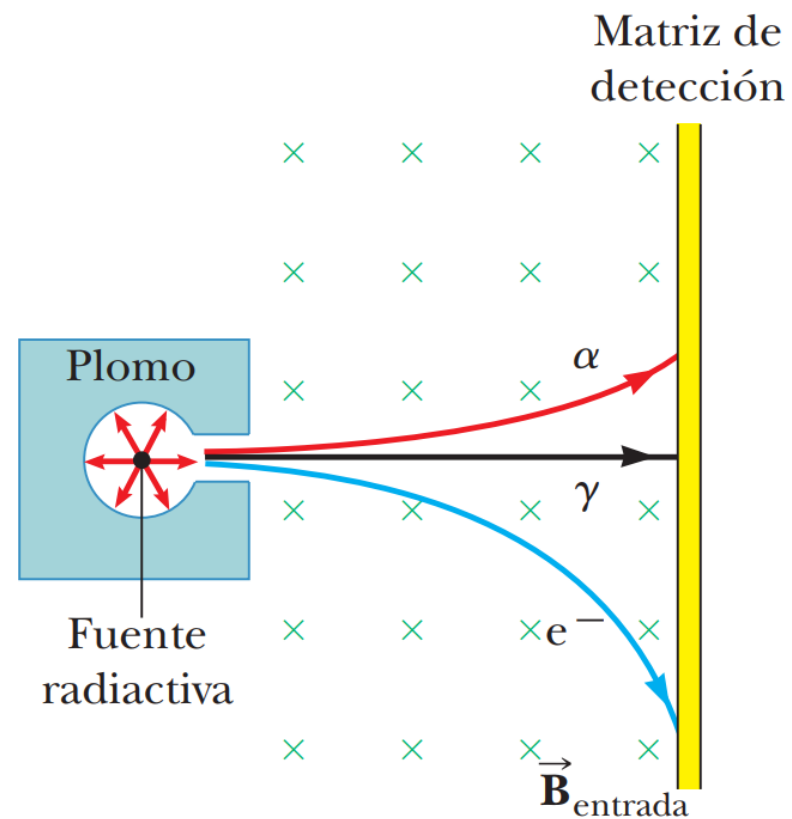
Radiactividad

Tipos de decaimiento

Encontramos tres tipos de decaimiento a nivel nuclear,

- ✓ Decaimiento Alfa
- ✓ Decaimiento Beta (β^+ y β^-)
- ✓ Decaimiento Gamma

¿Cual es la partícula Alfa, cual la Gamma y cual el e^- ? ¿Cómo sería la trayectoria del e^+ ?

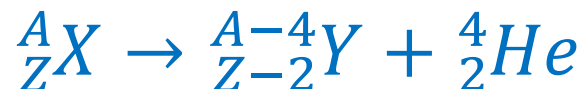


Radiactividad

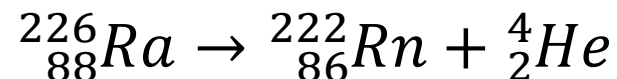
Tipos de decaimiento

Decaimiento Alfa

El núcleo emite una partícula de ${}^4_2\text{He}$.



Ejemplo,



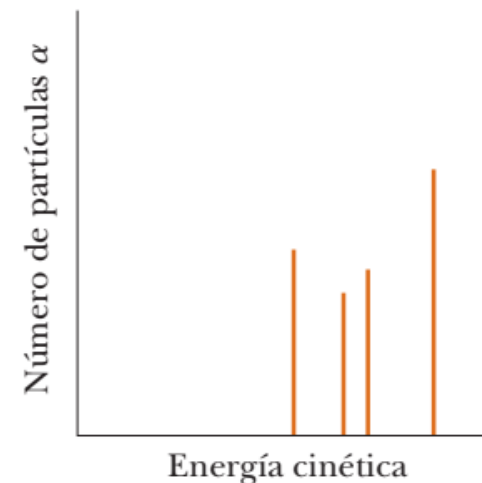
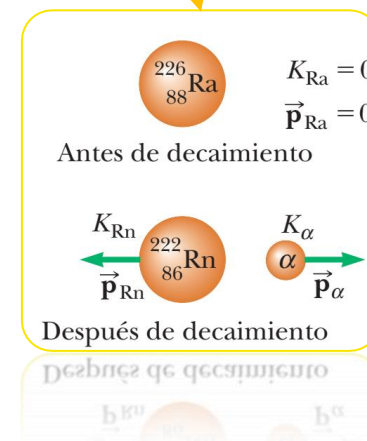
La energía de desintegración esta dada por,

$$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha) \times 931,491[\text{MeV}/u]$$

Se conserva número de nucleones.

Se conserva número de cargas

Se conserva masa-energía y cantidad de movimiento



Radiactividad

Tipos de decaimiento

5) ¿Cuál es Q para el decaimiento del $^{226}_{88}\text{Ra}$?

Masa del $^{226}_{88}\text{Ra} = 226,025u$

Masa del $^{222}_{86}\text{Rn} = 222,017570u$

Masa del $^4_2\text{He} = 4,002603u$

6) ¿Cuál es la energía cinética de la partícula Alfa generada? ¿Es igual a la calculada o menor?
Calcule la energía cinética de la partícula alfa.

Utilizar,

- Ecuación de la cantidad de movimiento

$$M_Y v_Y - M_\alpha v_\alpha = 0$$

- Energía de desintegración es igual a la suma de las energías cinéticas

$$Q = \frac{1}{2} M_\alpha v_\alpha^2 + \frac{1}{2} M_Y v_Y^2$$

Con $K_\alpha = \frac{1}{2} M_Y v_Y^2$

Radiactividad

Tipos de decaimiento

5) ¿Cuál es Q para el decaimiento del $^{226}_{88}\text{Ra}$?

6) ¿Cuál es la energía cinética de la partícula Alfa generada? ¿Es igual a la calculada o menor?
Calcule la energía cinética de la partícula alfa.





Time out!

Radiactividad

Tipos de decaimiento

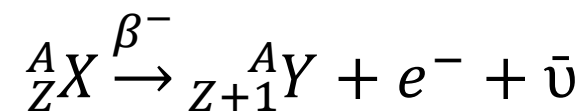


Radiactividad

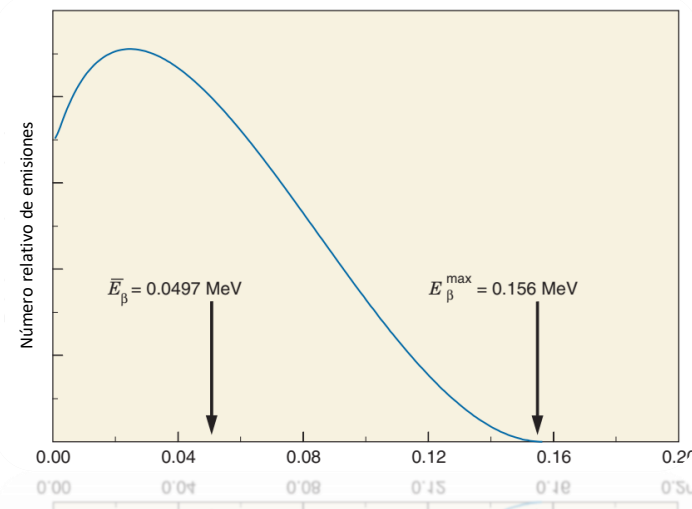
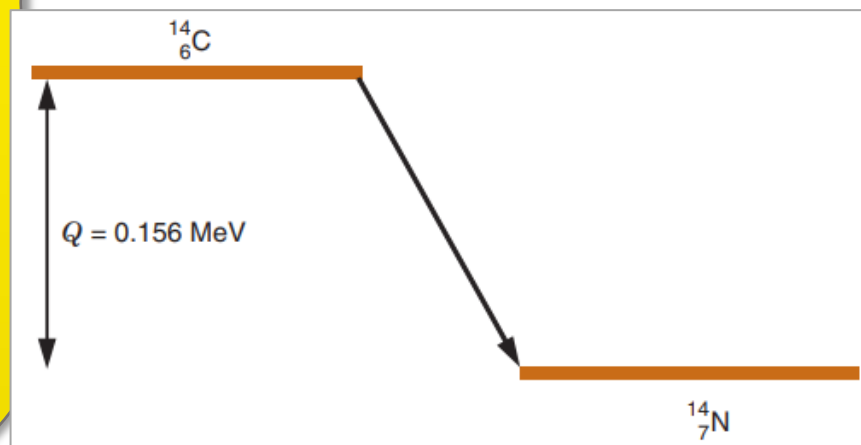
Tipos de decaimiento

Decaimiento Beta Menos o β^-

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu} + \text{energía}$$



$$Q_{\beta^-} = (M_x - M_y)c^2$$

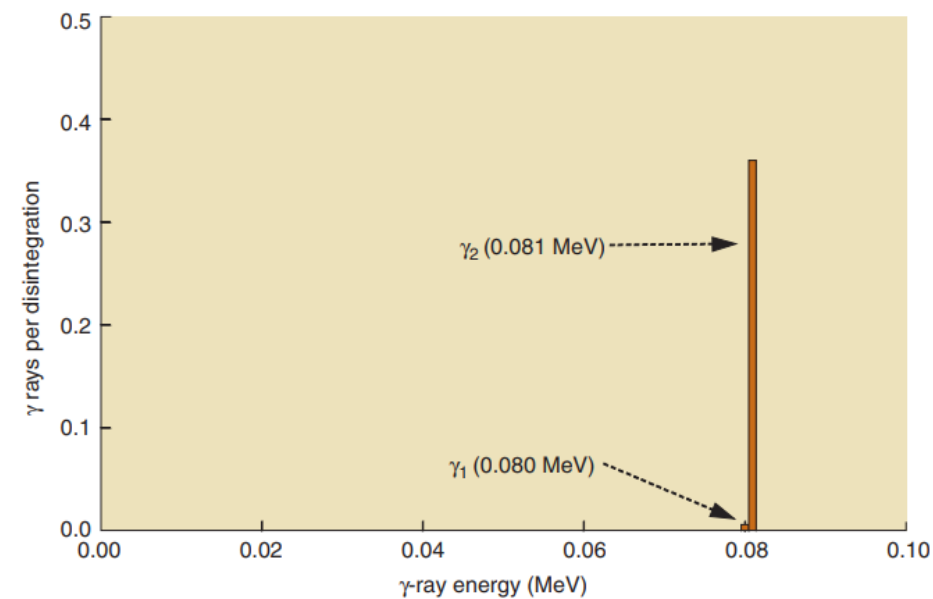
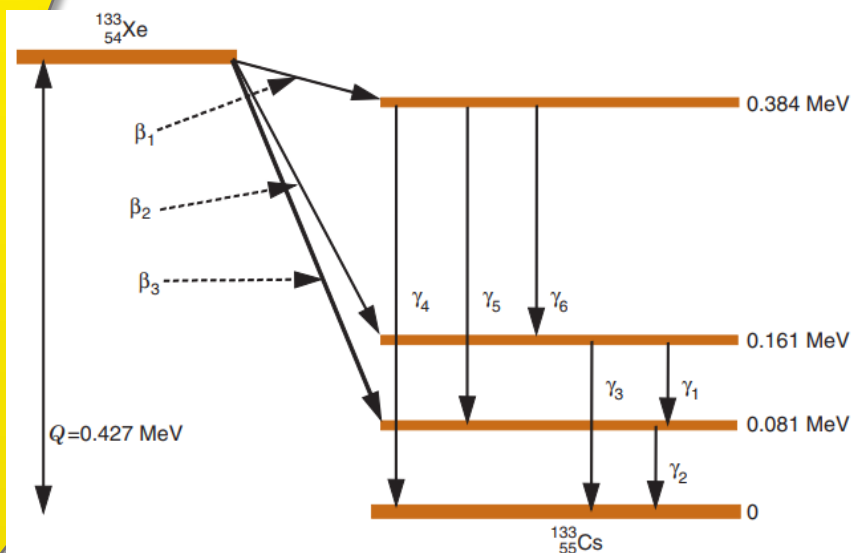
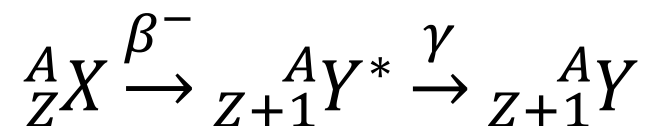


Radiactividad

Tipos de decaimiento

Decaimiento (β^- , γ)

Ejemplos de este decaimiento son el ^{131}I , ^{133}Xe y el ^{137}Cs



Radiactividad

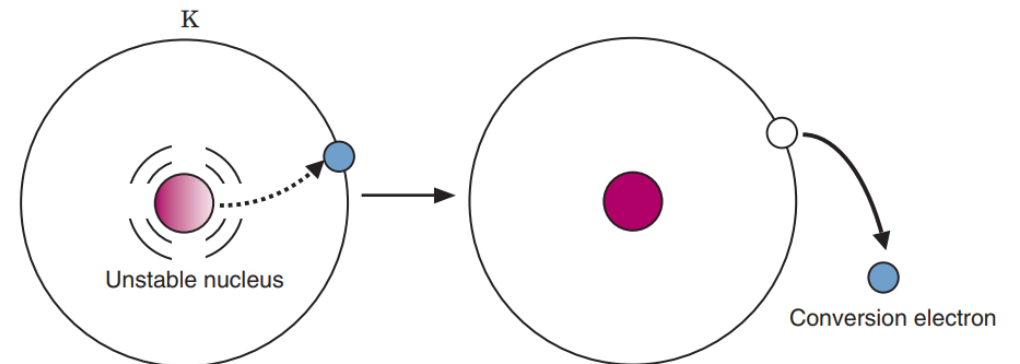
Tipos de decaimiento

Conversión interna

El rayo gamma no es emitido sino que es absorbido por un electrón en la capa K del átomo.

¿Qué sucede cuando queda una vacante debido a la conversión interna?

¿Cuál es la diferencia entre el electrón emitido por β^- y el emitido por conversión interna? ¿Cómo son sus espectros de emisión?

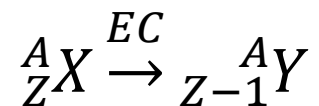


Radiactividad

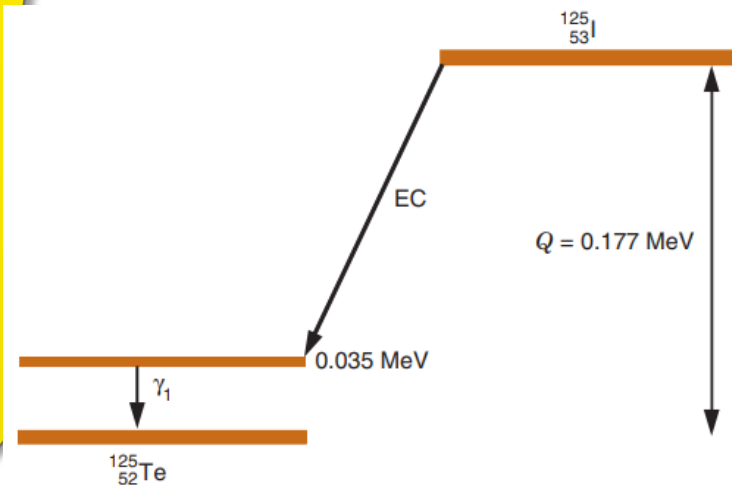
Tipos de decaimiento

Captura electrónica

$$p^{+} + e^{+} \rightarrow n + \nu + \text{energía}$$



En electrón es capturado por el núcleo y combina con un protón para formar un neutrón.

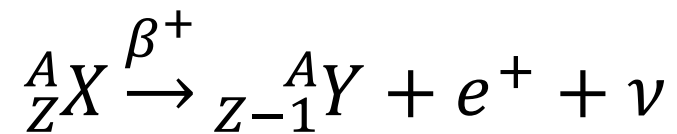


Radiactividad

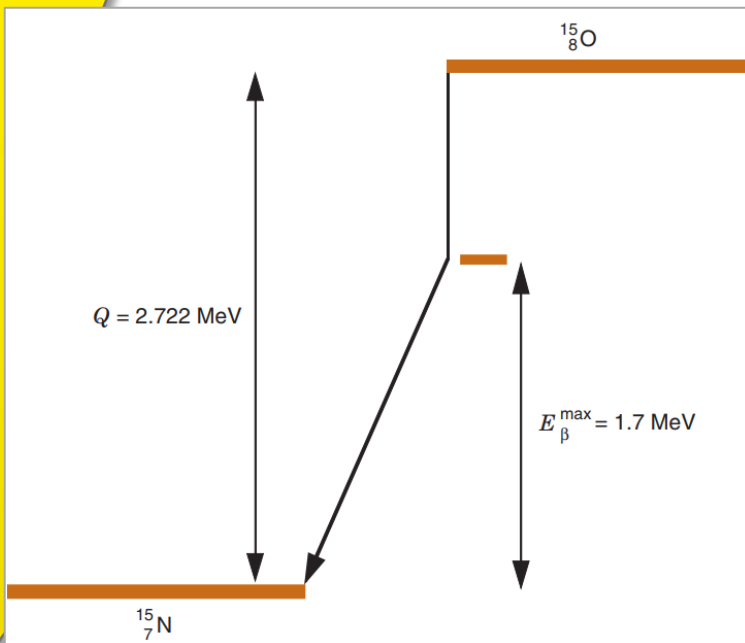
Tipos de decaimiento

Decaimiento Beta Mas o β^+

$$p^+ \rightarrow n + e^+ + \nu + \text{energía}$$



$$Q_{\beta^+} = (M_x - M_y - 2m_e)c^2$$

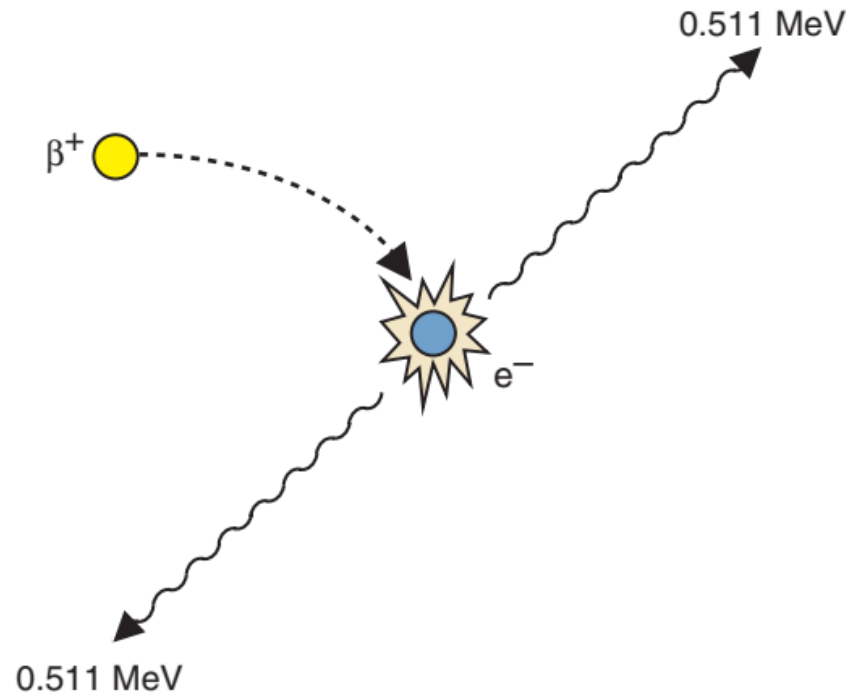


Radiactividad

Tipos de decaimiento

Fotones de aniquilación

La partícula β^+ va perdiendo energía cinética en sucesivos choques, hasta que finalmente interactúa con un e^- y se producen dos **fotones de aniquilación**.



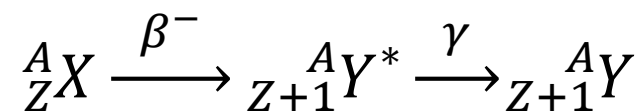
Radiactividad

Tipos de decaimiento

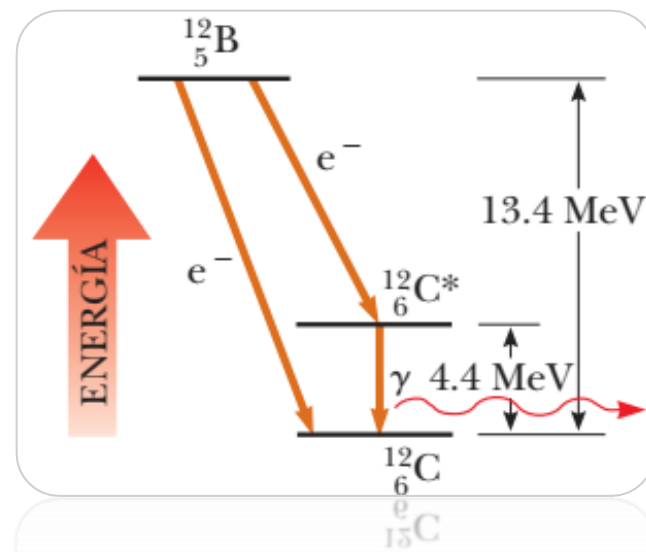
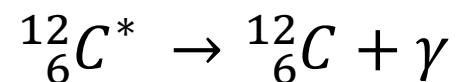
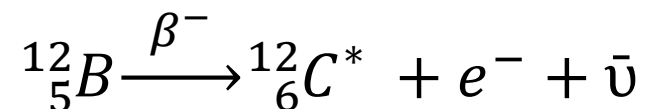
Decaimiento Gamma

En muchos casos, un núcleo excitado pasa a un estado metaestable, para luego caer a un estado mas estable, liberando un fotón de alta energía, conocido como **fotón γ** .

No hay cambios en Z, N o A. Solo un cambio de energía.



Ejemplo

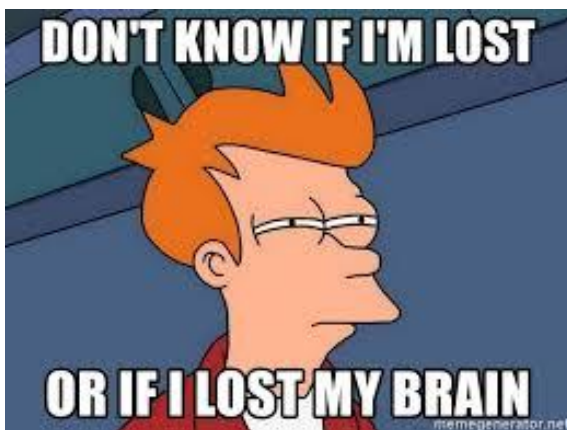


Radiactividad

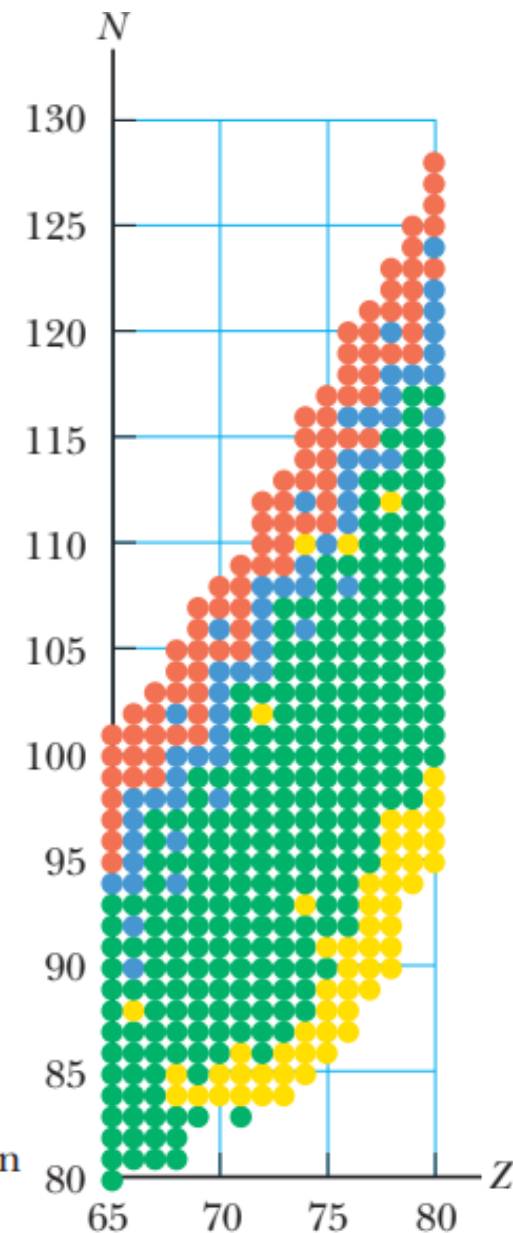
Tipos de decaimiento

En resumen, vimos los tipos de decaimiento a nivel nuclear que son,

- ✓ Decaimiento Alfa
- ✓ Decaimiento Beta (β^+ y β^-)
- ✓ Decaimiento Gamma



- Beta (electrón)
- Estable
- Beta (positrón) o captura de electrón
- Alfa





Time out!

Radiactividad

Actividad y vidas medias

- La radiactividad es un fenómeno **espontáneo**.
- Los eventos radiactivos son procesos **estadísticos**.
- Ningún cambio en el ambiente (físico o químico) afecta la rapidez de decaimiento radiactivo.

Si $N(t)$ es la cantidad de núcleos inestables en un determinado momento, podemos definir la tasa de cambio de **núcleos inestables a núcleos estables** cómo,

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t) \quad (1)$$

El factor $dN(t)/dt$ se llama *tasa de decaimiento*, *rapidez de decaimiento*, *velocidad de decaimiento* o **actividad** de la muestra.

Radiactividad

Actividad y vidas medias

Podríamos expresar la ecuación (1) de una manera diferente, como,

$$\frac{dN(t)}{N(t)} = -\lambda dt \quad (2)$$

Integrando la ecuación (2)

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

La ecuación (3) nos dice la cantidad de núcleos restantes que tiene la muestra.

Radiactividad

Actividad y vidas medias

Si queremos saber cuantas descomposiciones se producen por segundo, debemos conocer la **actividad**. La misma se define como,

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| =$$



Radiactividad

Actividad y vidas medias

Si queremos saber cuantas descomposiciones se producen por segundo, debemos conocer la **actividad**. La misma se define como,

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda \frac{1}{dt} (N_0 e^{-\lambda t}) = A_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Donde $A_0 = \lambda N_0$ es la actividad $t = 0$.

La actividad de una muestra tiene unidades de $\left[\frac{\text{desintegraciones}}{\text{segundos}} \right]$, nos dice **que tan radiactiva** es la muestra.

Radiactividad

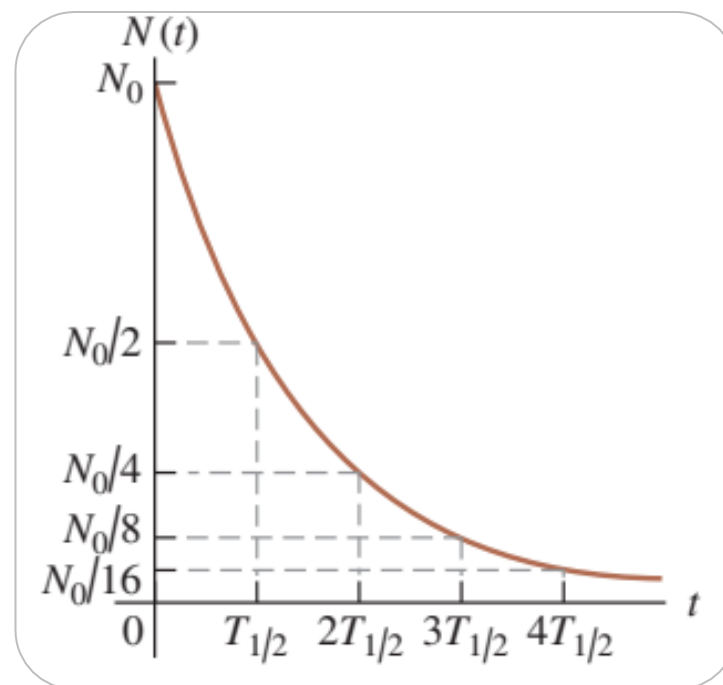
Actividad y vidas medias

¿En cuanto tiempo la cantidad de núcleos radiactivos decaerá a la mitad?

Si reemplazamos $N = N_0/2$ y $t = T_{1/2}$ en la ecuación (2), tendremos,

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \approx \frac{0.693}{\lambda} \quad (5)$$

¿En cuanto se habrán reducidos los núcleos radiactivos empezando con N_0 núcleos luego de $1T_{1/2}$, $2T_{1/2}$ y $3T_{1/2}$?



Radiactividad

Actividad y vidas medias

Las unidades de la actividad radiactiva suele medirse en **Curie (Ci)**,

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \left[\frac{\text{descomposiciones}}{\text{segundo}} \right]$$

También se usa el **Becquerel (Bq)**,

$$1 \text{ Bq} = 1 \left[\frac{\text{descomposiciones}}{\text{segundo}} \right]$$

Entonces, $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} [\text{Bq}]$



Radiactividad

Actividad y vidas medias

7) El ^{57}Co es un isótopo radiactivo que se desintegra por captura de electrón, con un $T_{1/2} = 272$ días.

- a) Calcular la constante de decaimiento λ .
- b) Suponga que tiene una fuente de ^{57}Co con una actividad de $2\mu\text{Ci}$, ¿Cuántos núcleos radiactivos posee la fuente?
- c) ¿Cuál será la actividad pasado un año?

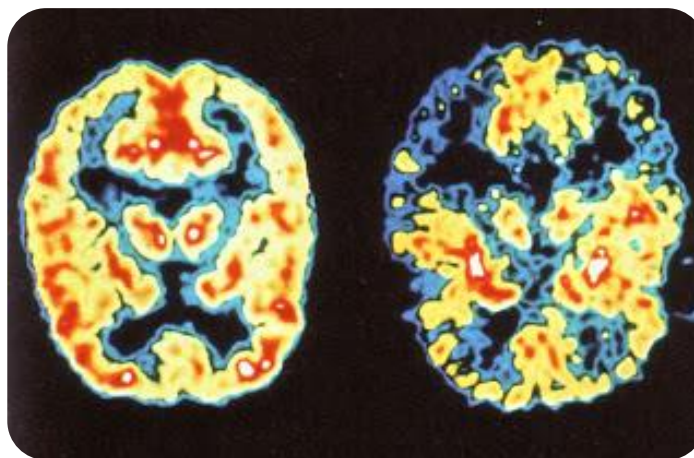


Radiactividad

Actividad y vidas medias

Una muestra radiactiva contiene $5\mu\text{g}$ de $^{11}_6\text{C}$ puro el cual posee una vida media de 20.4min . La masa molar del $^{11}_6\text{C}$ es de 11 g/mol .

¿Cuál es la actividad de la muestra inicialmente y luego de 10hs?



El $^{11}_6\text{C}$ es un isótopo radiactivo del $^{12}_6\text{C}$. Es un emisor de positrones y se utiliza como *marcador* para evaluar, por ejemplo, enfermos con Alzheimer.

Aplicaciones

Aplicaciones de las radiaciones en medicina

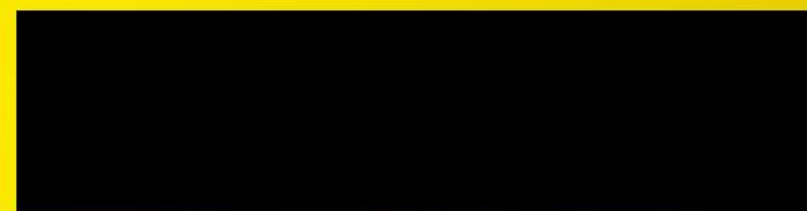
- Resonancia Magnética Nuclear
- Equipos de Rayos X
- Medicina Nuclear
- Radioterapia



Bibliografía

1. Physics in Nuclear Medicine – Simon R. Cherry – Cuarta Edición – (Capítulos 2, 3 y 4)
2. Young HD, Sears FW, Freedman, RA & Zemansky MW – “*Física universitaria con física moderna*”, Volumen II. Pearson Educación (CAPÍTULO 43)
3. Serway RA & Jewett JW Jr. “*Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna*”, Volumen 2. International Thomson (CAPÍTULO 44).





FIN

Gracias por su atención