

# Radiactividad

## Guía de Practica Clase 6



**UC: Óptica y Radiaciones**

**Docentes:**

- Baldezzari Lucas
- Billordo Javier

**Carrera:** Tecnólogo en Ingeniería Biomédica – Universidad Tecnológica

## Clases 6: Radiactividad

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

## Material de lectura

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

## Resumen de conceptos importantes

### Unidades de masa y energía

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.

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

La unidad de medida para átomos es la *unidad de masa atómica*, abreviada con la letra **u**. Un *u* se define como 1/12 de la masa del  $^{12}\text{C}$  y es igual a,

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

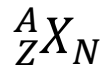
El Dalton se utiliza para definir cantidades de masa para moléculas formadas por muchos átomos.

La energía es medida en *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.

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

### Átomos

Podemos simbolizar a cualquier elemento cómo sigue,



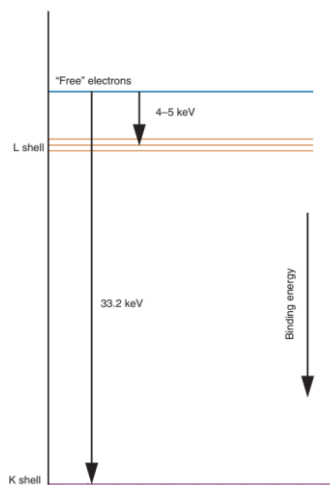
Donde,

- A es el número másico
- Z es el número atómico
- N es el número de neutrones

### Energía de enlace electrónica

Los electrones que orbitan alrededor del núcleo poseen una energía de enlace. Dicha energía es lo que los mantiene “ligados” al núcleo. Cada elemento tiene una cantidad determinada de electrones que orbitan alrededor del núcleo en diferentes *capas*. La caracterización de los estados electrónicos en cada una de estas capas está determinado por los números cuánticos correspondientes al elemento, sin embargo, en este curso no analizaremos dichos estados.

La figura 1 muestra un esquema de niveles de energía electrónico para cierto átomo.



**Figura 1:** Diagrama de niveles de energía para las capas electrónicas K y L

- La transición electrónica desde un estado energético inferior a uno superior, **requiere energía**.
- La transición desde un estado energético superior a uno de menor energía, **libera energía**.

### Fuerzas nucleares

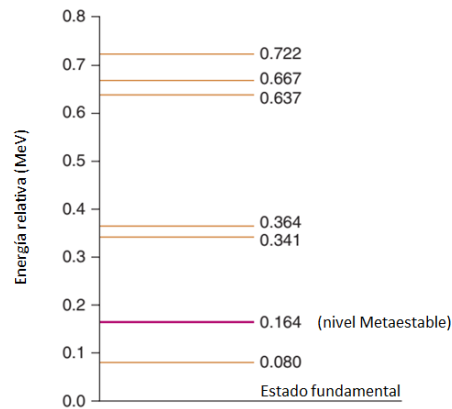
En el núcleo encontramos dos tipos de fuerzas repulsivas eléctricas y fuerzas de atracción nucleares. El arreglo más estable entre nucleones se llama **estado fundamental** o **estado basal**.

Encontramos también,

- **Estado excitado:** Arreglos de nucleídos inestables de muy corta duración. Pasan de un estado de energía superior, a uno inferior. Símbolo  ${}^AX^*$ .

- **Estado metaestable:** También son estados inestables, pero poseen relativamente altas vidas medias ( $10^{-12}$  s) antes de pasar a un estado de menor energía. Símbolo  $^{Am}X$  o  $X-Am$ .

La figura 2 muestra los niveles de energía de un núcleo de  $^{131}\text{Xe}^*$ . Los estados por encima del estado fundamental son estados excitados. La línea *gruesa* por encima del estado basal es un estado metaestable.



**Figura 2:** Diagrama de algunos niveles de energía nucleares para el  $^{131}\text{Xe}^*$ .

### Energía de enlace nuclear

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.

$$E_B = \Delta mc^2 \quad (1)$$

Donde  $\Delta m$  es la **diferencia de masa**, entre la masa del elemento y las masas de sus partículas constitutivas sumadas individualmente.

Además  $c^2 = 931,494 [\text{MeV}/u]$

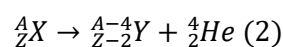
Podemos obtener la energía de enlace **por nucleón** si dividimos la  $E_B$  sobre el número másico A.

### Radiactividad

La radiactividad es el proceso por el cual un *núcleo inestable* se transforma en uno *más estable* liberando energía en forma de fotones, partículas o ambas. La radiactividad es un proceso de conversión de energía. Los productos resultantes del decaimiento, pesan menos que el núcleo original.

### Decaimiento Alfa

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

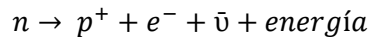


La energía de desintegración está dada por,

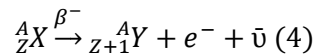
$$Q = (M_X - M_Y - M_\alpha) \times 931,491 [\text{MeV}/u] \quad (3)$$

### Decaimiento Beta

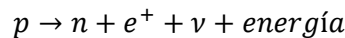
**Beta menos:** Un neutrón se convierte en un protón y un electrón. El electrón y el antineutrino son expulsados del núcleo.



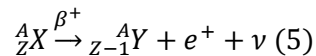
El decaimiento por  $\beta^-$  aumenta el número Z en uno según la ecuación (4)



**Beta más:** Un protón se convierte en un neutrón y un positrón. El positrón y el neutrón son expulsados del núcleo.



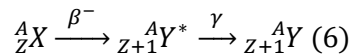
El decaimiento por  $\beta^+$  disminuye el número Z en uno según la ecuación (5)



### 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  $\gamma$** .

No hay cambios en Z, N o A. Solo un cambio de energía. Dicha transición se muestra en la ecuación (6)



### Actividad y Vida media

Si  $N$  es la cantidad de núcleos inestables en un determinado momento, podemos definir la tasa de cambio de núcleos inestables a núcleos estables como,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (7)$$

Si integramos la ecuación (7) obtenemos,

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (8)$$

La ecuación (8) nos dice que el decaimiento de los núcleos radiactivos responde a una exponencial decreciente.

La constante  $\lambda$  es la **constante de decaimiento**. Nos da la probabilidad de decaimiento para un núcleo inestable de cierto elemento.

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

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t} \quad (9)$$

Donde  $A_0 = \lambda N_0$  en  $t = 0$ .

#### Vida media

La vida media se define como el tiempo para que la cantidad de núcleos inestables se reduzca a la mitad.

$$T_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \approx \frac{0.693}{\lambda} \quad (10)$$

Las unidades de medida básica para la medición de la actividad radiactiva en una muestra son las siguientes

Curie (Ci) se define como,

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

El Becquerel (Bq),

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

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

#### Actividad específica

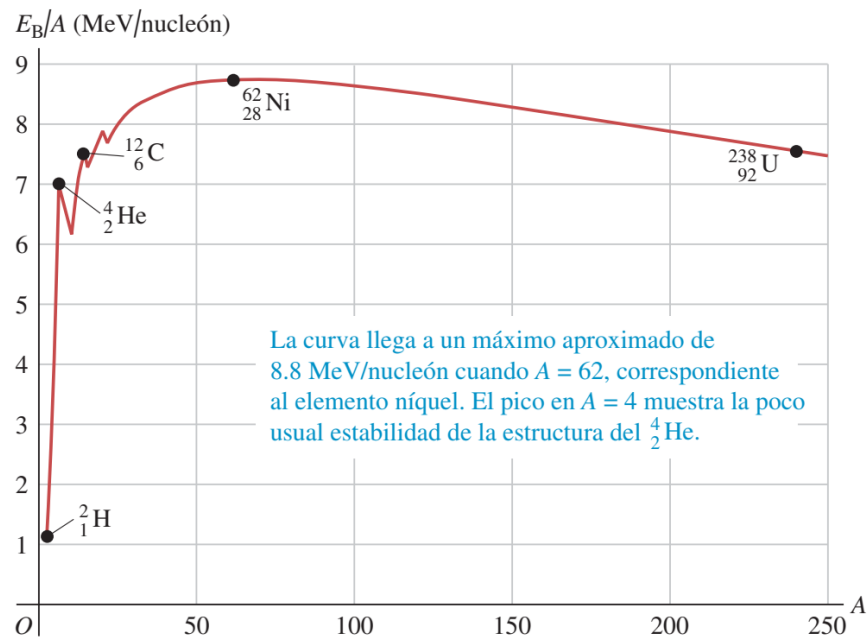
Definimos la actividad específica de una sustancia radiactiva como la relación entre la actividad de la muestra por unidad de masa,

$$A_e = \frac{A}{m}$$

#### Tablas y gráficas útiles

La tabla que se entrega con esta guía fue sacada del libro Serway RA & Jewett JW Jr. “Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna”, Volumen 2.

La figura 3 muestra la gráfica de energía de enlace por nucleón respecto del número total de nucleones que se encuentran dentro del núcleo.



**Figura 3:** Energía de enlace por nucleón en función del número másico.

## Ejercicios

- El isótopo más común del uranio es el  $^{238}_{92}\text{U}$ . La masa atómica es 238.050783 u. Calcule,
  - el defecto de masa
  - la energía de enlace (en MeV)
  - la energía de enlace por nucleón.
- Calcular la energía de enlace nuclear por nucleón para los siguientes átomos,
  - $^2_1\text{He}$
  - $^4_2\text{He}$
  - $^{18}_9\text{F}^*$
  - $^{56}_{26}\text{Fe}$
- Dos núcleos con un mismo número de masa se conocen como isóbaros. Calcule la diferencia en energías de enlace por nucleón de los isóbaros  $^{23}_{11}\text{Na}$  y  $^{23}_{12}\text{Mg}$ .
- En el proceso de fotodesintegración un fotón  $\gamma$  de muy alta energía puede ser absorbido por el núcleo de un deuterón ( $^2_1\text{H}$ ) dividiéndolo en un protón y un neutrón. ¿Cuál es la longitud de onda máxima de un rayo  $\gamma$  para pueda dividir un deuterón en un protón y un neutrón?
- La energía de enlace de los núcleos de  $^{10}_5\text{B}$ ,  $^{11}_5\text{B}$  y  $^{12}_5\text{B}$  son 64,751 MeV, 76,205 MeV y 79,575 MeV.
  - Calcular la energía de enlace por cada nucleón.
  - Justificar cuál de los núcleos anteriores es más estable.
- Un hipotético átomo tiene tres niveles de energía: el fundamental, dos estados por encima de éste, de energía 1 eV y 3 eV, respectivamente.
  - Calcular las frecuencias y las longitudes de onda de las líneas espectrales que puede emitir este átomo cuando se excita.
  - ¿Qué longitudes de onda puede absorber este átomo, si al principio está en su nivel fundamental?
- Una muestra de 6.5 g de un isótopo de número másico igual a 124 posee una tasa de decaimiento (actividad) de 0.350 Ci. ¿Cuál es la vida media de la muestra? Nota: Puede calcular la cantidad de núcleos en la muestra mediante la relación del peso de la muestra y el peso de masa en kg, de 124 protones.
- Los isótopos radiactivos que se usan en la terapia del cáncer tienen un "tiempo de duración" igual que los productos farmacéuticos que se usan en quimioterapia. Justo después de haber sido producida en un reactor nuclear, la actividad de una muestra de  $^{60}\text{Co}$  es 5000 Ci. Cuando su actividad baja de 3500 Ci se considera una fuente muy débil para usarla en el tratamiento. Suponga que trabaja en el departamento de radiología de un gran hospital o centro de medicina nuclear. Una de esas fuentes de  $^{60}\text{Co}$  en su inventario fue fabricada el 6 de octubre de 2016. Hoy es 13 de mayo de 2019. ¿Todavía se puede usar esa fuente? La vida media del  $^{60}\text{Co}$  es de 5,271 años.
- ¿Qué intervalo de tiempo se necesita para que la actividad de una muestra del isótopo radiactivo  $^{72}_{33}\text{As}$  decaiga un 90% de su valor original? La vida media del  $^{72}_{33}\text{As}$  es de 26 hs.
- Una muestra recién preparada de cierto isótopo radiactivo tiene una actividad de 10.0 mCi. Después de 4.00 h, su actividad es de 8.00 mCi.
  - Determine la constante de decaimiento y la vida media del isótopo en cuestión.



## "Radioactividad"

- b) ¿Cuántos átomos del isótopo se encontraban en la muestra al momento de ser preparada?  
c) ¿Cuál es la actividad de la muestra 30hs después de haber sido preparada?
- 11) Una muestra de material radioactivo contiene  $1.00 \times 10^{15}$  átomos con una actividad de  $6 \times 10^{11} \text{ Bq}$ . ¿Cuál es la vida media de la muestra?
- 12) Una muestra de 12g de carbón procedente de materia viviente decae a una tasa de 180 decaimientos por minuto, debido al  $^{14}\text{C}$  radiactivo que contiene. El  $^{14}\text{C}$  tiene una vida media de 5730 años. ¿Cuál será la rapidez de decaimiento de esta muestra dentro de,  
a) 1000 años y  
b) 50,000 años.
- 13) Un trozo de carbón que contiene 25.0 g de carbono  $^{14}\text{C}$  se encuentra en algunas ruinas de una ciudad antigua. La muestra presenta una actividad del  $^{14}\text{C}$  de 250 desintegraciones/min. ¿Hace cuánto murió el árbol del que provino este carbón? Nota: Debe calcular cuantas moles de  $^{14}\text{C}$  hay en 25g (El carbono posee 12 g/mol) y luego calcular cuántos núcleos de  $^{14}\text{C}$  posee dicha muestra. Un mol posee  $6.02 \times 10^{23}$  átomos.
- 14) En muchos casos, el cáncer de próstata es tratado implantando en el paciente de 60 a 100 semillas de material radiactivo dentro del tumor. La energía liberada por dichas semillas, mata las células tumorales. Uno de los isótopos radiactivos utilizado para dicho tratamiento es el paladio  $^{103}\text{Pd}$  que posee una vida media de 17 días. Si una semilla típica contiene 0.250g de  $^{103}\text{Pd}$ ,  
a) ¿Cuál es la actividad inicial en Bq?  
b) ¿Cuál es su actividad 68 días después de producida la muestra?
- 15) Los isótopos radiactivos a menudo se introducen en el cuerpo a través de la corriente sanguínea. Su dispersión dentro del cuerpo puede monitorearse detectando la aparición de radiación en diferentes órganos. El  $^{131}\text{I}$  es un isótopo que se utiliza como *marcador*. Este isótopo es un emisor de  $\beta^-$  con vida media de 8.0 días. Suponga que un científico introduce una muestra con una actividad de 375 Bq y observa su dispersión en los órganos.  
a) Suponiendo que toda la muestra llegó a la glándula tiroides, ¿cuál será la tasa de decaimiento en esa glándula 24 días (aproximadamente dos semanas y media) después?  
b) Si se mide la tasa de decaimiento en la tiroides 24 días después y resulta que es 17.0 Bq, ¿qué porcentaje del trazador llegó a esa glándula?  
c) ¿Qué isótopo permanece después de que el I-131 decae?
- 16) La vida media del  $^{131}\text{I}$  es de 8,04 días.  
a) Calcule la constante de decaimiento.  
b) ¿Cuál es la cantidad de núcleos necesarios para producir una actividad de 6,04mCi?  
c) Una muestra de  $^{131}\text{I}$  con esta actividad decae por 40,2 días. ¿Cuál es la actividad al final de este período?
- 17) Una muestra radiactiva de  $^{131}\text{I}$ , con una vida media de 8,04 días, tiene una actividad de 6,04mCi cuando es embarcado. Al recibir la muestra en un laboratorio médico, la actividad es de 2,1mCi. ¿Cuánto tiempo ha transcurrido desde que se embarcó?