

## Física Nuclear. Ejemplos de problemas resueltos

### Ejemplo 1 (Oviedo 2010 - 2011)

El hierro 56 tiene un número atómico  $Z = 26$  y una masa de  $55,9394$  u. Sabiendo que la masa de un protón es  $1,0073$  u y la de un neutrón es  $1,0087$  u, determine:

- El defecto de masa en u
- La energía de enlace del núcleo en julios
- La energía de enlace por nucleón en julios

DATOS:  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s ;  $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27}$  kg

#### Solución:

- Calculamos el defecto en masa viendo la diferencia entre la masa del núcleo y la de los nucleones que lo forman:

$$\Delta m = [Z m_p + (A - Z) m_n] - M_{\text{núcleo}}$$
$$\Delta m = [26 \cdot 1,0073 \text{ u} + 30 \cdot 1,0087 \text{ u}] - 55,9394 \text{ u} = 0,5114 \text{ u}$$

- La energía correspondiente al defecto de masa es la energía de enlace:

$$E_{\text{Enlace}} = \Delta m c^2 = 0,5114 \text{ u} \cdot \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{1 \text{ u}} \left( 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 = 7,64 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

- La energía de enlace por nucleón será:

$$\frac{E_{\text{Enlace}}}{\text{nucleón}} = \frac{E_{\text{Enlace}}}{A} = \frac{7,64 \cdot 10^{-11} \text{ J}}{56} = 1,36 \cdot 10^{-12} \frac{\text{J}}{\text{nucleón}}$$

### Ejemplo 2 (Oviedo 2006 - 2007)

Entre los materiales gaseosos que se pueden escapar de un reactor nuclear se encuentra el  $^{131}_{53}\text{I}$  que es muy peligroso por la facilidad con que se fija en la glándula tiroides.

- Escribe la reacción de desintegración sabiendo que se trata de un emisor beta.
- Calcula, en unidades S.I., la energía total liberada por el núcleo al desintegrarse.

DATOS:  $^{131}\text{I} = 130,90612$  u;  $^{131}\text{Xe} = 130,90508$  u; partícula beta:  $5,4891 \cdot 10^{-4}$  u;

$1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27}$  kg;  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s

#### Solución:

- La emisión beta implica la conversión de un neutrón en un protón. El núcleo resultante, por tanto, tendrá un número atómico una unidad superior (correspondiente al Xe) y su número másico será idéntico:



- Suponiendo masa prácticamente nula para el neutrino electrónico tendremos:

Masa inicial ( $m_i$ ) =  $130,90612$  u

Masa final ( $m_f$ ) =  $(130,90508 + 5,4891 \cdot 10^{-4}) \text{ u} = 130,90563$

Defecto de masa:  $(m_f - m_i) = (130,90563 - 130,90612) \text{ u} = - 4,910^{-4} \text{ u}$

$$4,9 \cdot 10^{-4} \text{ u} \cdot \frac{1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{1 \text{ u}} = 8,13645 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

Luego la energía generada (masa convertida en energía) será:

$$E = m c^2 = 8,13645 \cdot 10^{-31} \text{ kg} (3 \cdot 10^8)^2 (\text{m/s})^2 = 7,3228 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

### Ejemplo 3 (Oviedo 2009 - 2010)

Tenemos  $10^4$  núcleos de una sustancia radiactiva en un frasco. El periodo de semidesintegración es de 6 años. ¿Cuántos átomos quedarán al cabo de 12 años?

#### Solución:

Como el periodo de semidesintegración es de 6 años, al cabo de ese tiempo quedarán la mitad de los núcleos presentes al principio, esto es: 5 000 núcleos. Cuando pasen otros seis años el número de núcleos se reducirá nuevamente a la mitad, luego quedarán 2 500 núcleos.

Aunque el cálculo es muy sencillo también podemos usar la ley de decaimiento radiactivo para determinar el número de núcleos que quedan por desintegrar:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{6 \text{ años}} = 0,1155 \text{ años}^{-1}$$
$$N = 10^4 e^{-(0,1155 \times 12)} = 2\,500$$

### Ejemplo 4 (Oviedo 2000)

El  $^{22}\text{Na}$  es un nucleido radiactivo con un periodo de semidesintegración (tiempo necesario para que el número de núcleos se reduzca a la mitad) de 2,60 años.

- ¿Cuánto vale su constante de desintegración?
- En el instante ( $t=0$ ) en que una muestra tiene  $4,3 \cdot 10^{16}$  núcleos de  $^{22}\text{Na}$  ¿cuál es su actividad en becquerelios (desintegraciones por segundo)?
- Cual será su actividad para  $t = 1$  año?
- ¿Cuánto valdrá su constante de desintegración para  $t = 1$  año?
- ¿Cuándo será nula su actividad?

#### Solución:

- a) La constante de desintegración y periodo de semidesintegración son inversamente proporcionales:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{\ln 2}{2,60 \text{ años}} = 0,2666 \text{ años}^{-1}$$

- b) La actividad de una muestra es el valor absoluto de la velocidad de desintegración:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = N \lambda = 4,3 \cdot 10^{16} \cdot 0,2666 \text{ años}^{-1} = 1,146 \cdot 10^{16} \text{ años}^{-1}$$

$$A = 1,146 \cdot 10^{16} \frac{1}{\text{año}} \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 3,63 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$A = 3,63 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1} = 3,63 \cdot 10^8 \frac{\text{núcleos}}{\text{s}} = 3,63 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

- c) La actividad depende del número de núcleos presentes. Al cabo de un año quedarán:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = 4,3 \cdot 10^{16} e^{-0,2666 \times 1} = 3,3 \cdot 10^{16} \text{ núcleos}$$

Su actividad será, por tanto:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = N \lambda = 3,3 \cdot 10^{16} \cdot 0,2666 \text{ años}^{-1} = 8,78 \cdot 10^{15} \text{ años}^{-1}$$

$$A = 8,78 \cdot 10^{15} \text{ años}^{-1} \frac{1}{\text{año}} \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} = 2,78 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$A = 2,78 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1} = 2,78 \cdot 10^8 \frac{\text{núcleos}}{\text{s}} = 2,78 \cdot 10^8 \text{ Bq}$$

- d) La constante de desintegración, tal y como su nombre indica, no varía con el tiempo. Es una constante característica del núclido y que en este caso vale  $0,2666 \text{ años}^{-1}$
- e) Como  $A = N \lambda$ , la actividad será nula cuando N (número de núcleos presentes) sea cero. Según la ley de decaimiento radiactivo el número de núcleos sin desintegrar decrece de forma exponencial, lo que implica que será nula para un tiempo infinito (ver gráfica de decaimiento del  $^{14}\text{C}$ ), aunque en un tiempo finito (más o menos largo) su actividad será prácticamente nula

### Ejemplo 5 (Oviedo 2003-2004)

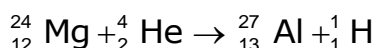
Se bombardea un blanco de  $^{24}\text{Mg}$  con partículas alfa y se observa después de la reacción la presencia de  $^{27}\text{Al}$  más otra partícula ligera. Sabiendo que los números atómicos del Mg y del Al son 12 y 13, respectivamente, se pide:

- a) Identificar razonablemente la partícula ligera.  
 b) Si las partículas alfa tienen una energía cinética de 1 MeV, ¿podrá tener lugar esa reacción? ¿Y en caso de que su energía cinética sea de 10 MeV?

DATOS: partícula alfa: 4,0039 u ; d= 2,015 u ; n= 1,0087 u ; p= 1,0076 u ;  $^{24}\text{Mg}$ = 23,9924 u  
 $^{27}\text{Al}$  = 26,9899 u ; 1 uma= 931,5 MeV/c<sup>2</sup>

### Solución:

- a) Teniendo en cuenta que la suma de los números másicos y atómicos se mantiene invariable, se deduce fácilmente que la partícula pedida es un protón:



- b) Si hacemos un balance de masa para la reacción planteada, obtenemos:

- Reactivos:  $m_R = (4,0039 + 23,9924) \text{ u} = 27,9963 \text{ u}$
- Productos:  $m_P = (26,9899 + 1,0076) \text{ u} = 27,9975 \text{ u}$

Se puede observar que la masa de los productos es:  $(27,9975 - 27,9963) \text{ u} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ u}$  superior a la de los reactivos. La reacción, por tanto violaría el principio de conservación masa - energía, ya que los productos tienen más energía:

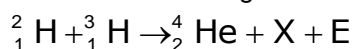
$$1,2 \cdot 10^{-3} \text{ u} \cdot \frac{931,5 \text{ MeV}}{1 \text{ u}} = 1,1178 \text{ MeV}$$

La reacción, en consecuencia, no tendrá lugar si las partículas que colisionan inicialmente no tienen una energía cinética mínima igual al valor obtenido. **Por tanto, si la partícula alfa** (suponemos que el núcleo de Mg que actúa como blanco está quieto) **tiene una energía cinética de 1 MeV, no se producirá la reacción.**

**Si la partícula alfa tiene una energía de 10 MeV su energía está por encima del umbral necesario (1,1178 MeV). La reacción será posible.** El exceso de energía se distribuirá entre las partículas presentes (como energía cinética o aumentando la energía interna de los núcleos promoviéndolos a estados excitados)

### Ejemplo 6 (Oviedo 2009-2010)

En la reacción nuclear de fusión del deuterio con el tritio se genera un núcleo de helio y otra partícula, X, con un desprendimiento de energía E:

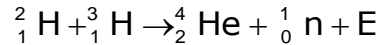


- a) ¿Qué partícula se genera (razone la respuesta)  
 b) Determinar el valor de E

DATOS:  $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ; deuterio: 2,0141 u ; tritio= 3,0160 u ;  ${}^4\text{He}$  = 4,0039 u  
 n= 1,0087 u ; p= 1,0073 u ; ; 1 uma=  $1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

**Solución:**

- a) Como en la reacción nuclear se conservan tanto la suma de los números másicos (número de nucleones) como la de los números atómicos (protones), deducimos que la partícula pedida debe ser un neutrón:



- b) Para determinar el valor de la energía desprendida hacemos el balance de masa de la ecuación y calculamos la energía correspondiente al defecto de masa mediante la fórmula de Einstein:  $E = m c^2$

Productos :

$$m_p = (4,0039 + 1,0087)u = 5,0126 u$$

Reactivos :

$$m_R = (2,0141 + 3,0160)u = 5,0301 u$$

$$\Delta m = m_p - m_R = (5,0126 - 5,0301)u = -0,0175 u$$

$$E = mc^2 = 0,0175 u \cdot \frac{1,6605 \cdot 10^{-27} \text{kg}}{1 u} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 2,62 \cdot 10^{-12} \text{J}$$

NOTA: Si calculamos la cantidad de energía desprendida en la fusión de 1 mol de deuterio (2,014 g) con otro de tritio (3,016 g) obtendríamos:

$$2,62 \cdot 10^{-12} \frac{\text{J}}{\text{núcleo}} \cdot \frac{6,023 \cdot 10^{23} \text{ núcleos}}{1 \text{ mol}} = 1,58 \cdot 10^{12} \text{J}$$

Para darnos una idea de la cantidad de energía generada pensemos que de un barril de petróleo (unos 159 litros) se puede convertir en gasolina un 30 % aproximadamente, luego un barril de petróleo rinde unos 48 litros de gasolina. Un litro de gasolina genera  $3,48 \cdot 10^7$  J de energía, luego la fusión de un mol de deuterio con un mol de tritio nos suministraría la energía equivalente a:

$$1,58 \cdot 10^{12} \text{J} \cdot \frac{1 \text{ litro gasolina}}{3,48 \cdot 10^7 \text{J}} = 45 \cdot 402 \text{ litros gasolina}$$

$$45 \cdot 402 \text{ litros gasolina} \cdot \frac{1 \text{ barril petróleo}}{48 \text{ litros gasolina}} = 946 \text{ barriles de petróleo}$$