TEMA 9

FÍSICA NUCLEAR Y DE PARTÍCULAS.

PROBLEMAS DE SELECTIVIDAD.

1. a) ¿Qué ocurre cuando un núclido emite una partícula alfa? ¿Y cuando emite una partícula beta?
   b) Calcule el número total de emisiones alfa y beta que permitirían completar la siguiente transmutación:

$$^{235}_{95}U \rightarrow ^{207}_{82}Pb$$

a)
La emisión de una partícula alpha puede representarse por medio de:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{A-4}_{Z-2}Y$$

Como vemos, si un núclido emite radiación alpha, se convierte en otro núclido con un número atómico inferior en dos unidades y un número másico cuatro veces inferior.
En cuanto a la emisión beta, podemos diferenciar dos tipos:

- La desintegración β^-, propia de núclidos con exceso neutrónico. Puede esgrimirse como:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{A}_{Z+1}X + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

- La desintegración β^+ es propia de elementos con déficit neutrónico. Puede sintetizarse como:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{0}_{+1}\overline{e} + ^{A}_{Z-1}X + ^{0}_{0}\nu_e$$

b) $^{235}_{95}U \rightarrow ^{207}_{82}Pb$

Se producirán **n** desintegraciones alpha y **m** desintegraciones beta.

Cada desintegración α $\begin{cases} A \rightarrow A - 4 \\ Z \rightarrow Z - 2 \end{cases}$

Cada desintegración β $\begin{cases} A \rightarrow A - 4 \\ Z \rightarrow Z - 2 \end{cases}$

Por lo tanto, los descensos sufridos en A y Z serán:

$$\left.\begin{matrix} A - 4n \\ Z - 2n + m \end{matrix}\right\} \rightarrow \left\{\begin{matrix} 235 - 4n = 207 \\ 95 - 2n + m = 82 \end{matrix}\right\} \rightarrow \begin{cases} n = 7 \\ m = 1 \end{cases}$$

Es decir, en el proceso indicado se producirán 7 desintegraciones alpha y una desintegración beta

2. Responda breve pero razonadamente a las siguientes preguntas:
   a) ¿Por qué se postuló la existencia del neutrón?
   b) ¿Por qué la masa de un núcleo atómico es menor que la suma de las masas de las partículas que lo constituyen?

a) Por un lado, debido a la necesidad de explicar la falta de repulsión entre los protones que constituyen el núcleo, y sobre todo, para poder justificar la no correspondencia entre la masa atómica real de los átomos y la que teóricamente debería corresponder al mismo átomo con el número de protones que constituían su núcleo.

b) El núcleo atómico posee una masa inferior a la correspondiente a la suma de las masas de sus partículas constituyentes. Esa cantidad se denomina DEFECTO DE MASA, y, expresada en términos energéticos (utilizando la expresión que indica la equivalencia masa-energía, $E=mc^2$), indica la disminución energética producida al formarse el núcleo por aproximación de las partículas que lo conforman. En este sentido, un mayor defecto de masa indicará una mayor energía desprendida, y por lo tanto una menor energía del núcleo (respecto al valor teórico de la suma de las masas de las partículas), con lo que su estabilidad será mayor. Cuanto mayor es el defecto de masa, mayor será la estabilidad del núclido.

3. El ${}^{14}_{6}C$ se desintegra dando ${}^{14}_{7}N$ y emitiendo una partícula beta. El período de semidesintegración del ${}^{14}_{6}C$ es de 5376 años.
   a) Escriba la ecuación del proceso de desintegración y explique cómo ocurre.
   b) Si la actividad debida al ${}^{14}_{6}C$ de los tejidos encontrados en una tumba es del 40% de la que presentan los tejidos similares actuales, ¿cuál es la edad de aquellos?

El proceso en cuestión es:

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e + \overline{\nu}_e$$

Uno de los neutrones del núclido inicial se desintegra para dar un protón y un electrón, emitiendo además un antineutrino. Como consecuencia de ello, se forma otro núclido con un número atómico superior en una unidad pero con igual número másico (puesto que se desintegró un neutrón).

b) $\begin{cases} \tau_{1/2} = 5376 \text{ años} \\ \dfrac{A}{A_0} = 0'4 \end{cases}$

$$\left.\begin{array}{l} A = A_0.e^{-\lambda t} \\ A = \dfrac{A_0}{2} \end{array}\right\} \rightarrow \frac{A_0}{2} = A_0.e^{-\lambda \tau_{1/2}} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda.\tau_{1/2}} \rightarrow$$

$$\rightarrow Ln\frac{1}{2} = -\lambda.\tau_{1/2} \rightarrow Ln2 = \lambda.\tau_{1/2} \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{\tau_{1/2}} = \frac{0'693}{\tau_{1/2}} = 0{,}00012890625 \text{ año}^{-1} \cong 1'3.10^{-4} \text{ año}^{-1}$$

Así :

$$A = A_0.e^{-\lambda t} \rightarrow 0'4.A_0 = A_0.e^{-1'3.10^{-4}t} \rightarrow 0'4 = e^{-1'3.10^{-4}t} \rightarrow Ln0'4 = -1'3.10^{-4}t \rightarrow$$

$$\rightarrow t = \frac{Ln0'4}{-1'3.10^{-4}} = 7106'78 \textit{ años}$$

4. Una de las reacciones de fisión posibles del $^{235}_{92}U$ es la formación de $^{94}_{38}Sr$ y $^{140}_{54}Xe$, liberándose 2 neutrones.

a) Formule la reacción y haga un análisis cualitativo del balance de masa.

b) Calcule la energía liberada por 20 gramos de uranio.

m(U) = 234'9943 u; m(Sr) = 93'9754 u; m(Xe) = 139'9196 u; m(n) = 1'0086 u;
$N_A = 6'02.10^{23}\ mol^{-1}$

a) El proceso de fisión comienza cuando un neutrón impacta contra el núcleo de uranio. El proceso completo es:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Sr + 2\ ^{1}_{0}n$$ (tal y como indicaba el enunciado)

Si observamos detenidamente, el número de nucleones permanece constante.
Además, se cumple la conservación de A y de Z.
Por otro lado, todos los procesos obedecen a la conservación de la masa-energía

b) Puesto que se trata de un proceso exotérmico, la energía (masa-energía) del segundo miembro será ligeramente inferior a la del primero. La diferencia, expresada en términos de masa, se conoce con el nombre de DEFECTO DE MASA:

$$\delta m = (93'9754 + 139'9196 + 2.1'0086) - (234'9943 + 1'0086) = 0'0907 uma$$

Este defecto de masa puede transformarse en unidades de energía. Recordemos que: $E = m.c^2$
En nuestro caso,

$$\delta E = \delta m.c^2 = 0'0907.931'47 = 84'4843 MeV$$ (Energía desprendida por cada núclido de uranio que se fisiona)

Puesto que se disponen de 20 gramos, dispondremos de :

$$\frac{20}{234.9943} = 8'511.10^{-2}\ moles$$

$$8'511.10^{-2} \times 6'02.10^{23} = 5'1235.10^{22}$$ átomos de uranio (o lo que es lo mismo, núclidos)

Estableciendo una sencilla relación:

$$\frac{1\ \text{núclido}}{5'1235.10^{22}\ ''} = \frac{84'4843\ \text{MeV}}{x\ \ ''}$$

Por lo que:

$$x = 4'33.10^{24}\ \text{MeV}$$

5. El Tc se desintegra emitiendo radiación gamma.
   a) Explique el proceso de desintegración y defina "período de semidesintegración".
   b) Calcule la actividad de un gramo de isótopo cuya vida media en el estado inicial es de 6 horas.

$N_A = 6'02.10^{23}\ mol^{-1}$; masa atómica del Tc = 99 u

a) La desintegración es un proceso por el que un núcleo inestable se transforma en otro más estable. Tal proceso puede realizarse de maneras diferentes:

- RADIACIÓN ALFA.

Es un tipo de radiación poco penetrante que puede ser detenida por una simple hoja de papel. Rutherford sugirió que los rayos alfa son iones de átomos de Helio (He^{2+}) moviéndose rápidamente, y en 1909 lo demostró experimentalmente.

Este tipo de radiación la emiten núcleos de elementos pesados situados al final de la tabla periódica (A >100), con muchos protones y en los que la repulsión eléctrica es muy fuerte, por lo que tienden a obtener un N aproximadamente igual a Z, y para ello emiten una partícula alfa. En el proceso se desprende mucha energía que se convierte en la energía cinética de la partícula alfa, es decir que estas partículas salen con velocidades muy altas.

En el proceso un núcleo cualquiera de número másico A y número atómico Z, se convierte en otro núcleo Y con número másico A-4 y nº atómico Z-2, y se emite una partícula alfa. (1ª Ley de Soddy-Fajans):

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He^{2+}$$

Como ejemplo tendríamos las siguientes desintegraciones:

$$^{235}U \rightarrow ^{231}Th + ^{4}_{2}He^{2+}$$

$$^{226}Ra \rightarrow ^{222}Rn + ^{4}_{2}He^{2+}$$

$$^{210}Po \rightarrow ^{206}Pb + ^{4}_{2}He^{2+}$$

Las emisiones alfa son desviadas por campos eléctricos y magnéticos. Son poco penetrantes aunque muy ionizantes, y son muy energéticas.

Por otro lado, si se considera el fenómeno como un proceso que cede al sistema un gran contenido de energía (en forma de energía cinética de la partícula alfa), es sencillo darse cuenta de que la masa (energía) del segundo miembro será inferior a la del primer miembro. El defecto de masa se corresponderá con la energía cinética de la partícula desprendida (alpha).

- RADIACIÓN BETA.

Su poder de penetración es mayor que las alfa. Son frenadas por metros de aire, una lámina de aluminio o unos cm de agua. Existen tres tipos de radiación beta.

- Radiación β^- (beta menos).

Aparece para cualquier tipo de núcleo, pero es típica de núcleos con exceso de neutrones, es decir N>Z. Es un mecanismo usado por los núcleos para llegar a la línea de estabilidad (N aproximadamente igual Z)

La radiación β^- consiste en la emisión espontánea de electrones por parte de los núcleos, pero en el núcleo sólo hay protones y neutrones, ¿cómo puede emitir electrones? En 1934 Fermi explicó esta radiación suponiendo que en la desintegración beta menos, un neutrón se transforma en un protón, un electrón y un antineutrino mediante la reacción:

$$^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e \quad \text{(2ª Ley de Soddy)}$$

, donde, $^{0}_{0}\overline{\nu}_e$ es una partícula de antimateria, denominada antineutrino del electrón.

La emisión beta menos da como resultado otro núcleo distinto con un protón más, la reacción sería:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e^- + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

- Radiación β^+ (beta mas).

Mediante este mecanismo **un núcleo emite espontáneamente positrones**, e^+, antipartículas del electrón de igual masa pero con carga eléctrica opuesta.

Lo que ocurre es que un protón del núcleo se desintegra dando lugar a un neutrón, un positrón o partícula Beta+ y un neutrino. Así el núcleo se desprende de los protones que le sobran y se acercan a la línea de estabilidad N = Z. Por ello se da en núcleos con exceso de protones. La reacción sería:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + ^{0}_{+1}\overline{e}^+ + ^{0}_{0}\nu_e$$

, donde, ${}^{0}_{0}\nu_e$ es una partícula de antimateria, denominada neutrino del electrón, y ${}^{0}_{+1}\bar{e}^{+}$ es el antielectrón o positrón.

Algunos ejemplos son:

$$^{30}P \rightarrow {}^{30}Si + e^{+}$$

$$^{40}K \rightarrow {}^{40}Ar + e^{+}$$

$$^{53}Fe \rightarrow {}^{53}Mn + e^{+}$$

Este tipo de **radiación es típica de núclidos con deficiencia de neutrones**.

- Captura electrónica orbital

Se da en núcleos con **exceso de protones (deficiencia de neutrones**). Los núcleos pueden captar un electrón de la corteza electrónica (de la capa K, menos energética), que se unirá a un protón del núcleo para dar un neutrón:

$${}^{1}_{1}p^{+} + {}^{0}_{-1}e^{-} \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{0}\nu$$

$${}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e^{-} \rightarrow {}_{Z-1}^{A}Y + \nu$$

Como vemos, el núclido resultante es el mismo que el que resulta en la emisión β^{+}, aunque en este caso no existe emisión de positrones, aunque sí una emisión de rayos X.

- RADIACIÓN GAMMA.

En este tipo de radiación el núcleo no pierde su identidad. Mediante esta radiación el núcleo se desprende de la energía que le sobra para pasar a otro estado de energía más baja. Emite rayos gamma, o sea fotones muy energéticos. Este tipo de emisión acompaña a las radiaciones alfa y beta.

Es una radiación muy penetrante, atraviesa el cuerpo humano y sólo se frena con planchas de plomo y muros gruesos de hormigón. Al ser tan penetrante y tan energética, de los tres tipos de radiación es la más peligrosa.

$${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

b) Se define como ACTIVIDAD al número de desintegraciones por unidad de tiempo; es decir, a la velocidad de desintegración de una muestra radiactiva. Matemáticamente, este proceso puede indicarse como:

$$\frac{-dA}{dt} = \lambda.A \rightarrow \frac{dA}{A} = -\lambda.dt \rightarrow \frac{dA}{dt} = -\lambda.A \rightarrow A_C = -\lambda.A$$

Por otro lado, se define como **vida media** al tiempo promedio de existencia de un núcleo:

$\tau = \frac{1}{\lambda}$, que en nuestro caso será: $\tau = \frac{1}{6}$ hora $^{-1}$

En 1 gramo de muestra tendremos:

$$n = \frac{m}{PM} = \frac{1}{99} \rightarrow N^{o} \text{ átomos (en la muestra)} = \frac{1}{99}.6'022.10^{23} = 6'08.10^{21}\ átomos \text{ (iniciales)}$$

Por lo tanto:

$$A_C = \frac{6'08.10^{21}\ átomos}{6\ h} = 1'01.10^{21}\ \frac{átomos}{h}$$

6. a) Calcule la energía de enlace de los núcleos ${}^{3}_{1}H$ y ${}^{3}_{2}He$

b) ¿Qué conclusión, acerca de la estabilidad de dichos núcleos, deduciría de los resultados del apartado a)?

m(helio-3) = 3'016029 u; m(tritio) = 3'016049 u; m_P = 1'007825 u; ; m(n) = 1'008665 u

1 u = 1'66.10^{-27} kg; c = 3.10^{8} ms^{-1}

a)

$${}^{3}_{1}H \Rightarrow \delta m = (1'007825 + 2.1'008665) - 3'016049 = 0{,}009106\text{um a} \rightarrow \delta E = 0{,}009106 \times 931'47 = 8{,}48\text{MeV}$$

$${}^{3}_{2}He \Rightarrow \delta m = (2.1'007825 + 1'008665) - 3'016029 = 0{,}008286\text{um a} \rightarrow \delta E = 0{,}008286 \times 931'47 = 7'72\text{MeV}$$

b) Si a partir de los resultados anteriores determinamos la energía de enlace por nucleón, podremos comparar las estabilidades relativas entre ambos núclidos. Veamos:

$${}^{3}_{1}H \Rightarrow \frac{\delta E}{A} = \frac{8{,}48}{3}\text{MeV} = 2'83\frac{MeV}{nucleón}$$

$${}^{3}_{2}He \Rightarrow \frac{\delta E}{A} = \frac{7'72}{3}\text{MeV} = 2'57\frac{MeV}{nucleón}$$

El núcleo ${}^{3}_{1}H$ es más estable, al ser mayor la energía liberada por nucleón.

7. a) ¿Por qué los protones permanecen unidos en el núcleo, a pesar de que sus cargas tienen el mismo signo?

b) Compare las características de la interacción responsable de la estabilidad nuclear con las de otras interacciones, refiriéndose a su origen, intensidad relativa, alcance, etc.

a) Los protones y los neutrones se mantienen unidos en los núcleos debido a la acción de otro tipo de fuerzas distinto de las fuerzas eléctricas y de las fuerzas gravitatorias. Estas fuerzas, a las que llamaremos fuerzas nucleares, son de atracción, independientemente de la carga eléctrica, y mucho más intensas que las fuerzas eléctricas.
Los protones y neutrones del núcleo se encuentran en un espacio muy reducido, a distancias muy cortas unos de otros. A estas distancias tan cortas es muy grande la repulsión electromagnética entre protones, que de acuerdo a la ley de Coulomb es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia y directamente proporcional a la magnitud de las cargas. La fuerza que vence a esta repulsión electromagnética y es capaz de mantener el núcleo unido es otra de las 4 interacciones fundamentales conocidas, la fuerza nuclear fuerte. Es una fuerza atractiva y muy intensa, por lo que domina a la repulsión culombiana de los protones, pero tiene un muy corto alcance, sólo del orden de poco más de un Fermi (de hecho se anulan cuando las distancias son superiores a unos pocos femtómetros. A partir de esta distancia predominarán las fuerzas eléctricas, que tenderán a separar a los protones). Las características de este tipo de fuerza son que es una fuerza saturada (cada partícula sólo es capaz de interaccionar con un pequeño número de otras partículas), dirigida (depende de la orientación de los espines) e independiente de la carga (la fuerza entre dos protones es igual que la existente entre dos neutrones o entre protón y neutrón).
Debido a que la naturaleza eléctrica de los protones y neutrones es muy diferente y que las distancias dentro de un núcleo son muy pequeñas, hay que considerar que las fuerzas nucleares son diferentes a los tipos de fuerzas o interacciones hasta ahora conocidas.
Las fuerzas o interacciones nucleares tienen las siguientes características:
a) Son fuerzas atractivas y de esta forma, explican la existencia de núcleos tan pequeños y de tan alta densidad.
b) Son de intensidad muy fuerte, pues vencen la fuerza de repulsión electrostática entre los protones, que ya por sí son fuertes, por estar los protones muy cerca unos de otros.
c) Son de corto alcance, que significa que sólo es apreciable cuando las partículas que interaccionan están muy cerca unas de otras (distancias del orden de 10^{-15} m).
d) Son independientes de la carga eléctrica, lo que significa que las interacciones nucleares entre protón-protón, neutrón-neutrón y neutrón-protón son esencialmente iguales.
e) La fuerza nuclear tiene una «coraza» repulsiva, lo que significa que a distancias muy cortas, mucho menores a las del alcance, la fuerza nuclear se hace repulsiva. Esta característica se ha introducido para explicar la separación media constante de los nucleones, lo cual da lugar a un volumen nuclear proporcional al número total de nucleones, de forma que el resultado experimental es que el radio nuclear R viene dado por la ecuación:

$$R = R_0 . A^{\frac{1}{3}}$$

donde A es el número másico y R_0 es una constante igual para todos los núcleos y de valor $1{,}4.10^{-15}$ m.
Si situamos ahora a la fuerza nuclear dentro del conjunto de interacciones existentes en la Naturaleza, hay que decir que existen cuatro tipos de interacciones: fuerte, electromagnética, débil y gravitatoria.
La interacción fuerte es conocida también como interacción o fuerza nuclear, por ser responsable de la estabilidad del núcleo atómico, y son producidas a través del intercambio de unas partículas denominadas **mesones π.**

b) Denominamos fuerzas fundamentales a aquellas fuerzas de la naturaleza que no se pueden explicar en función de otras más básicas y que rigen los procesos en el mundo subatómico.
Las fuerzas o interacciones fundamentales conocidas hasta ahora son cuatro, ***gravitatoria***, ***electromagnética***, nuclear ***fuerte*** y nuclear ***débil***. Las dos primeras se descubrieron hace mucho tiempo, sin embargo, las nucleares son recientes, por haber sido estudiadas en el último siglo.
Fuerza Gravitatoria: Se ejerce entre 2 partículas cualesquiera que posean masa. Siempre es de naturaleza atractiva. Es una interacción muy débil, y que sólo se deja percibir de manera importante cuando los cuerpos implicados poseen una gran masa.
Fuerza Electromagnética: Se ejerce entre dos partículas con carga eléctrica. Puede ser atractiva o repulsiva. Es de mayor intensidad que la fuerza gravitatoria, y, a distancias mayores de 10^{-15}m supera a la fuerza nuclear fuerte
Fuerza Nuclear Débil: Responsable de la desintegración β de algunos elementos inestables. Es más débil que la fuerza nuclear fuerte y la fuerza electromagnética, pero, a distancias nucleares siempre supera a la gravitatoria. Son de corto alcance, haciéndose prácticamente nula para distancias mayores de 10^{-18} m
Fuerza Nuclear Fuerte: Responsable de la cohesión del núcleo: mantiene unidos a los nucleones. Muy intensa a distancias nucleares (en su radio de acción, es la más fuerte de todas las interacciones). Podemos decir que, para distancias mayores de 10^{-15}m su valor es nulo.

8. El período de semidesintegración de un nucleido radiactivo, de masa 200 u, que emite partículas beta es de 50 s. Una muestra, cuya masa inicial era de 50 g, contiene en la actualidad 30 g del nucleido original.
   a) Indique las diferencias entre el nucleido original y el resultante y represente gráficamente la variación con el tiempo de la masa de nucleido original.
   b) Calcule la antigüedad de la muestra y su actividad actual.

   $N_A = 6'02.10^{23}$ mol^{-1}

a)

$$\left[\begin{array}{l} \tau_{\frac{1}{2}} = 50sg \\ PA = 200uma \\ m_0 = 50g \\ m = 30g \end{array}\right] \rightarrow \tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}} = 1'39.10^{-2} \ \text{sg}^{-1}$$

El proceso de emisión beta puede sintetizarse en la segunda ley de Soddy, según la que:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^{-} + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

El núcleo atómico emite un electrón, en principio procedente del núcleo. La razón de ello se debe al proceso que sufre uno de los neutrones del núclido:

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

De este modo, el núclido formado posee el mismo número másico, y un número atómico superior en una unidad al del nucleido inicial, al haberse formado un nuevo protón.

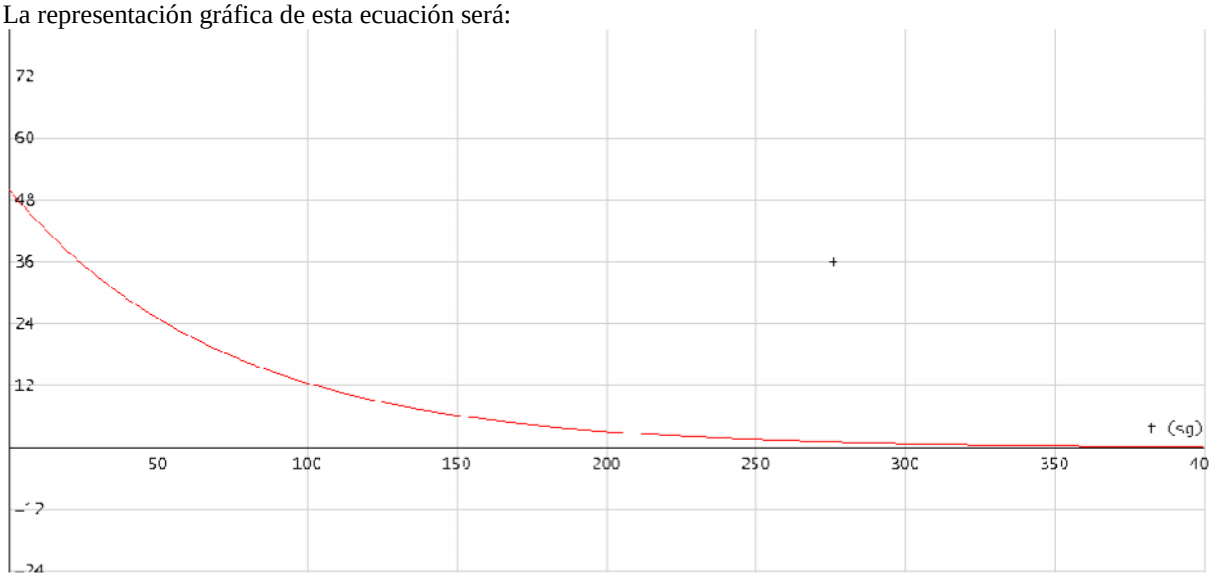
La variación temporal de la masa no es sino la velocidad de desintegración, dada por la ecuación:

$N = N_0.e^{-\lambda.t}$, siendo N y N_0 el número de núcleos actual e inicial, respetivamente. Esta ecuación también puede expresarse en términos de masa: $m = m_0.e^{-\lambda.t}$

En nuestro caso, la ecuación será:

$$m = 50.e^{-1'39.10^{-2}.t}$$

La representación gráfica de esta ecuación será:



b) Para determinar la edad de la muestra,

$$m = 50.e^{-1'39.10^{-2}.t} \rightarrow 30 = 50.e^{-1'39.10^{-2}.t} \rightarrow Ln\frac{3}{5} = -1'39.10^{-2}.t \rightarrow$$

$$\rightarrow Ln\frac{5}{3} = 1'39.10^{-2}.t \rightarrow t = 36'75sg$$

Para determinar la actividad:

$$A_c = \frac{dN}{dt} = -\lambda.N \rightarrow \text{ Actividad actual: } A_c = -(-1'39.10^{-2}).\frac{50}{200}.6'02.10^{23} =$$

$$= A_c = -(-1'39.10^{-2}).\frac{50}{200}.6'02.10^{23} = 2'09.10^{21} \, núcleos \, / \, sg$$

9. a) Compare las características más importantes de las interacciones gravitatoria, electromagnética y nuclear fuerte.
b) Explique cuál o cuales de dichas interacciones serían importantes en una reacción nuclear. ¿Por qué?

a) **Interacción gravitatoria:** La interacción gravitatoria es la fuerza de atracción que una porción de materia ejerce sobre otra, y afecta a todos los cuerpos. Su intensidad es mínima entre las partículas que intervienen en los procesos atómicos, pero es importante a gran escala porque su alcance es infinito, aunque decrece de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, según la ley de Newton.

A pesar de ser tan débil, su importancia reside en que siempre es atractiva y por tanto, se acumula, aumentando con el número de partículas en juego. De este modo, la gravitación es la fuerza preponderante a escala macroscópica, a pesar de que se trata de la más débil de todas las interacciones. Es la responsable de la atracción universal entre los cuerpos, de la cohesión de los astros (planetas, estrellas, satélites...) y regula sus movimientos.

Einstein, en 1915, tras formular su teoría especial de la relatividad, sugirió que la gravedad no era una fuerza como las otras, sino una consecuencia de la deformación del espacio-tiempo por la presencia de masa (o energía, que es lo mismo), formulando su teoría general de la relatividad. Entonces, cuerpos como la Tierra no se mueven en órbitas cerradas porque haya una fuerza llamada gravedad, sino que describen trayectorias parecidas a líneas rectas, pero en un espacio-tiempo que se encuentra deformado por la presencia del Sol.

No cabe duda de que, en su época, la interpretación de Einstein era innovadora, no obstante, con todo, propuso una teoría de campo clásica, en el sentido de que no introduce los conceptos cuánticos que describen el mundo microscópico. Los intentos realizados por cuantizar la interacción gravitatoria, igual que las demás interacciones y de los que pronto hablaremos, implican la existencia de una partícula especial, el gravitón, de masa nula y número cuántico de espín 2, que no ha podido ser detectada aún.

Interacción electromagnética: La fuerza electromagnética afecta exclusivamente a los cuerpos con carga eléctrica y es la responsable de las transformaciones físicas y químicas de átomos y moléculas, donde une a los electrones y los núcleos. Es mucho más intensa que la fuerza gravitatoria y su alcance es también infinito. Sin embargo, no es acumulativa como la gravitación. Ahora, según el tipo de cargas presentes, las interacciones electromagnéticas son atractivas o repulsivas, de manera que la neutralidad eléctrica de la materia anula sus efectos a larga distancia.

A raíz del triunfo de la teoría general de la gravitación de Newton, el francés Coulomb la adaptó para explicar las fuerzas de atracción y repulsión experimentadas por los objetos cargados eléctricamente, demostrando que ésta era directamente proporcional al producto de las cargas eléctricas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Mostró también, que las cargas de igual signo se atraen y las de distinto signo se repelen y que los cuerpos imanados también sufrían una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Experimentos posteriores realizados por el danés Oersted, el francés Ampère y el británico Faraday revelaron que los fenómenos eléctricos y magnéticos estaban relacionados. Fue cuando se descubrió la existencia del campo electromagnético, es decir que los fenómenos eléctricos y magnéticos poseen un origen común, las cargas eléctricas, ya estén en reposo o en movimiento.

El estudio del campo electromagnético fue sistematizado por el físico escocés J. C. Maxwell en su teoría electromagnética, en la que predijo que la transmisión de los campos eléctrico y magnético, perpendiculares entre sí, se realizaba ondulatoriamente a la velocidad de la luz. En el orden macroscópico, la teoría de Maxwell constituye un modelo de economía al unificar el tratamiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Ahora bien, cuando se aplica a las dimensiones atómicas la teoría del electromagnetismo se denomina electrodinámica cuántica, cuyos fundamentos se deben a Bethe, Tomonaga, Schwinger y Feynman, principalmente, en la cual se lleva a cabo una corrección cuántica de las ecuaciones de Maxwell.

Interacción nuclear fuerte: En un núcleo atómico hallamos un buen número de protones reunidos en un espacio muy reducido, lo que hace pensar en una repulsión eléctrica muy elevada. No es posible entender muy bien la estabilidad de un átomo bajo este punto de vista. Para explicar la estabilidad de los núcleos, que contienen protones a una distancia increíblemente pequeña, Rutherford postuló la existencia de la interacción nuclear fuerte, una fuerza atractiva de corto alcance, unos 10-15 m, es decir, muy intensa para distancias del orden de los diámetros nucleares, capaz de vencer la repulsión electrostática entre los protones. Podemos afirmar que la fuerza o interacción nuclear fuerte es la que mantiene unidos los componentes de los núcleos atómicos y actúa indistintamente entre dos nucleones cualesquiera, protones o neutrones.

Comparando todas las interacciones, la menor, sin duda, es la interacción gravitatoria. Si a ésta la asignamos una intensidad de 1, la fuerza nuclear débil sería de 10^{17}, considerablemente mayor, seguida por la electromagnética, en torno a 10^{30} y la de mayor intensidad, la interacción nuclear fuerte, con 10^{32}.

Teniendo en cuenta el especial carácter de las fuerzas nucleares al compararlas con las dos interacciones clásicas, es lógico suponer que su formulación no será similar a las ecuaciones de Newton y de Coulomb, sino que irá por otros derroteros. La descripción que actualmente se utiliza de la fuerza débil se realiza de manera unificada con la electromagnética en la denominada interacción electrodébil. Sus autores, Sheldon Glashow, Abdus Salam y Steven Weinberg, recibieron el Premio Nobel de Física 1979 por su trabajo. La teoría actual de la interacción fuerte, debida principalmente a Yang y Mills, fue completada a mitad de los años 70 y se llama cromodinámica cuántica, desarrollada por analogía con la electrodinámica de Feynman y colaboradores

b) De las tres que trata el enunciado, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza electromagnética serán las interacciones importantes en una reacción nuclear.

Recordemos que la existencia de un núcleo cualquiera se debe al equilibrio existente entre las fuerzas de atracción entre nucleones (la fuerza nuclear fuerte) y las repulsiones entre los protones (debido a la fuerza electromagnética). Puesto que a nivel de nucleones, la fuerza electromagnética debe ser enorme, debido al pequeñisimo valor de r, la fuerza nuclear fuerte debe ser mucho más intensa a esa escala. Cuando se produce una reacción nuclear, el proceso es debido a que el impacto debido al proyectil desequilibra el balance entre las fuerzas ya mencionadas. El choque hace separar ligeramente los nucleones; en determinados casos (en aquellos en los que se produce reacción nuclear), ese alejamiento es el suficiente como para hacer disminuir la atracción entre nucleones , a favor de una mayor repulsión interprotónica. El núcleo se vuelve inestable, y para volver a la estabilidad, sufre un proceso nuclear, por emisión de radiación α, β, γ, positrones, por procesos de fisión,....

10. a) Indique las características de las radiaciones alfa, beta y gamma.
    b) Explique los cambios que ocurren en un núcleo al experimentar una desintegración β.

Radiación α:

Es un tipo de radiación poco penetrante que puede ser detenida por una simple hoja de papel. Rutherford sugirió que los rayos alfa son iones de átomos de Helio (He2+) moviéndose rápidamente, y en 1909 lo demostró experimentalmente.

Este tipo de radiación la emiten núcleos de elementos pesados situados al final de la tabla periódica (A >100), con muchos protones y en los que la repulsión eléctrica es muy fuerte, por lo que tienden a obtener un N aproximadamente igual a Z, y para ello emiten una partícula alfa. En el proceso se desprende mucha energía que se convierte en la energía cinética de la partícula alfa, es decir que estas partículas salen con velocidades muy altas.

En el proceso un núcleo cualquiera de número másico A y número atómico Z, se convierte en otro núcleo Y con número másico A-4 y nº atómico Z-2, y se emite una partícula alfa. (1ª Ley de Soddy-Fajans):

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He^{2+}$$

Las emisiones alfa son desviadas por campos eléctricos y magnéticos. Son poco penetrantes aunque muy ionizantes, y son muy energéticas.

Por otro lado, si se considera el fenómeno como un proceso que cede al sistema un gran contenido de energía (en forma de energía cinética de la partícula alfa), es sencillo darse cuenta de que la masa (energía) del segundo miembro será inferior a la del primer miembro. El defecto de masa se corresponderá con la energía cinética de la partícula desprendida (alpha).

Radiación Beta:

Su poder de penetración es mayor que las alfa. Son frenadas por metros de aire, una lámina de aluminio o unos cm de agua. Existen tres tipos de radiación beta.

a) Radiación β^- (beta menos) .

Aparece para cualquier tipo de núcleo, pero es típica de núcleos con exceso de neutrones, es decir N>Z. Es un mecanismo usado por los núcleos para llegar a la línea de estabilidad (N aproximadamente igual Z)

La radiación β^- consiste en la emisión espontánea de electrones por parte de los núcleos, pero en el núcleo sólo hay protones y neutrones, ¿cómo puede emitir electrones? En 1934 Fermi explicó esta radiación suponiendo que en la desintegración beta menos, un neutrón se transforma en un protón, un electrón y un antineutrino mediante la reacción:

$^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e$ (2ª Ley de Soddy)

, donde, $^{0}_{0}\overline{\nu}_e$ es una partícula de antimateria, denominada antineutrino del electrón.

La emisión beta menos da como resultado otro núcleo distinto con un protón más, la reacción sería:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e^- + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

b) Radiación β^+ (beta mas)

Mediante este mecanismo un núcleo emite espontáneamente positrones, e+, antipartículas del electrón de igual masa pero con carga eléctrica opuesta.

Lo que ocurre es que un protón del núcleo se desintegra dando lugar a un neutrón, un positrón o partícula Beta+ y un neutrino. Así el núcleo se desprende de los protones que le sobran y se acercan a la línea de estabilidad N = Z. Por ello se da en núcleos con exceso de protones. La reacción sería:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + ^{0}_{+1}\overline{e}^+ + ^{0}_{0}\nu_e$$

, donde, $^{0}_{0}\nu_e$ es una partícula de antimateria, denominada neutrino del electrón, y $^{0}_{+1}\overline{e}^+$ es el antielectrón o positrón.

Este tipo de radiación es típica de núclidos con deficiencia de neutrones.

4.2.3 Captura electrónica orbital

Se da en núcleos con exceso de protones (deficiencia de neutrones). Los núcleos pueden captar un electrón de la corteza electrónica (de la capa K, menos energética), que se unirá a un protón del núcleo para dar un neutrón:

$^{1}_{1}p^+ + ^{0}_{-1}e^- \rightarrow ^{1}_{0}n + ^{0}_{0}\nu$

$^{A}_{Z}X + ^{0}_{-1}e^- \rightarrow ^{A}_{Z-1}Y + \nu$

Como vemos, el núclido resultante es el mismo que el que resulta en la emisión β^+, aunque en este caso no existe emisión de positrones, aunque sí una emisión de rayos X.

Radiación gamma:

En este tipo de radiación el núcleo no pierde su identidad. Mediante esta radiación el núcleo se desprende de la energía que le sobra para pasar a otro estado de energía más baja. Emite rayos gamma, o sea fotones muy energéticos. Este tipo de emisión acompaña a las radiaciones alfa y beta.

Es una radiación muy penetrante, atraviesa el cuerpo humano y sólo se frena con planchas de plomo y muros gruesos de hormigón. Al ser tan penetrante y tan energética, de los tres tipos de radiación es la más peligrosa.

$^{A}_{Z}X^* \rightarrow ^{A}_{Z}X + \gamma$

11. Razone si las siguientes afirmaciones son ciertas o falsas:
   a) Una vez transcurridos dos períodos de semidesintegración, todos los núcleos de una muestra radiactiva se han desintegrado.
   b) La actividad de una muestra radiactiva es independiente del tiempo.

a) Se denomina **período de semidesintegración** al tiempo que ha de transcurrir para que una determinada muestra radiactiva reduzca a la mitad su actividad; de otro modo, al tiempo necesario para que la masa radiactiva sea la mitad de la inicial.
Suponiendo una masa inicial M_0, transcurrido un período de semidesintegración, la masa de sustancia radiactiva será ahora $M_0/2$. Si a partir de este momento transcurre otro período de semidesintegración, el 50% de la muestra se habrá desintegrado; es decir $\left(M_0/2\right)/2 = M_0/4$. De otro modo: habrán desaparecido el 75% de los núcleos.
Otro modo de llegara a la misma conclusión sería recordando que:

$$\left.\begin{array}{l} M = M_0.e^{-\lambda t} \\ \tau_{\frac{1}{2}} = \dfrac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \dfrac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}} \end{array}\right\} \rightarrow M = M_0.e^{-\frac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}}.t}$$

, y puesto que han transcurrido dos períodos de semidesintegración:

$$M = M_0.e^{-\frac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}}.\left(2.\tau_{\frac{1}{2}}\right)} \rightarrow M = M_0.e^{-2.Ln2} = 0'25.M_0 = \frac{M_0}{4}$$

b) Se ha observado que todos los procesos radiactivos simples siguen una ley exponencial decreciente. Si N_0 es el número de núcleos radiactivos en el instante inicial, después de un cierto tiempo t, el número de núcleos radiactivos presentes N se ha reducido a

$$N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

,donde λ es una característica de la sustancia radiactiva denominada constante de desintegración.

La ley de desintegración puede deducirse del siguiente modo: si λ es la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo, la probabilidad de que un núcleo se desintegre en un tiempo dt es λ ·dt. Si hay N núcleos presentes, en el tiempo dt podemos esperar que se desintegren (λdt)N núcleos, Por tanto, podemos escribir:

$$dN = -(\lambda.dt).N \quad (1)$$

El signo menos aparece por que N disminuye con el tiempo a consecuencia de la desintegración.

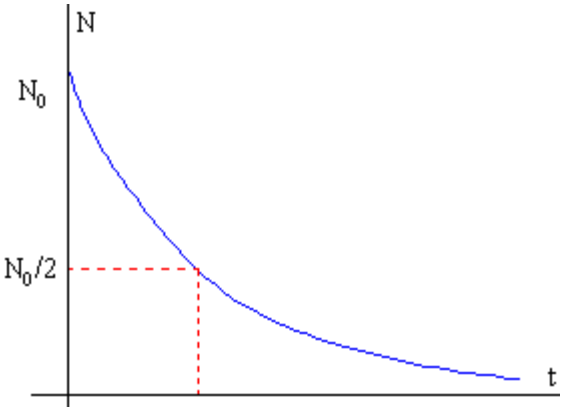
Para ver como de "activa" es una muestra se mide la velocidad de desintegración de la muestra, es decir el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo.

$A_C = \dfrac{-dN}{dt} = \lambda.N$, como vemos independiente del tiempo; tan sólo depende del número de núcleos en un determinado instante, y de la constante de desintegración

Pero la ecuación (1) está en forma diferencial. Integrando esta ecuación obtenemos la ley exponencial decreciente.

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_{0}^{t} \lambda.dt \rightarrow N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

N^0 es el número inicial de núcleos radioactivos presentes en el instante t=0.
La gráfica de la ecuación integrada resulta ser:



12. a) Justifique cuantitativamente cuál de los núclidos ${}^{16}_{8}O$ y ${}^{218}_{84}Po$ es más estable.

b) En la desintegración del núcleo ${}^{218}_{84}Po$ se emiten una partícula α y dos partículas β, obteniéndose un nuevo núcleo. Indique las características de dicho núcleo resultante. ¿Qué relación existe entre el núcleo inicial y el final?

m(${}^{16}_{8}O$) = 15'994915 u; m(${}^{218}_{84}Po$) = 218'009007 u; m_P = 1'007825 u; m_n = 1'008665 u

a) Para responder a la cuestión planteada, determinaremos la energía de enlace por nucleón de cada uno de estos nucleidos. Este valor nos indicará la estabilidad del núcleo, de tal modo que un mayor valor indicará mayor estabilidad, al indicar la energía que sería necesaria aportar para poder separar un nucleón del núcleo del que forma parte.

$E_b(O)$:

$$\delta m = m(O) - \left[8.m(p) + 8.m(n)\right] = \left[8.1'007825 + 8.1'008665\right] - 15'994915 = 0'137005 uma \equiv$$

$$\equiv 2'2758.10^{-25} Kg$$

$$\delta E = \delta m.c^2 = 2'2758.10^{-25}.9.10^{16} = 2'0482.10^{-8} J (\text{por núcleo})$$

$$E_b(O) = \frac{2'0482.10^{-8}}{16} = 1'2801.10^{-9} J / nucleón$$

$$E_b(Po) = \frac{}{218} = \frac{m(Po) - \left[84.m(p) + 134.m(n)\right]}{218}$$

$$\delta m = m(Po) - \left[84.m(p) + 134.m(n)\right] = \left[84.1'007825 + 134.1'008665\right] - 218'009007 = 1'809403 uma \equiv$$

$$\equiv 3'0057.10^{24} Kg$$

$$\delta E = \delta m.c^2 = 3'0057.10^{24}.9.10^{16} = 2'7051.10^{-7} J (\text{por núcleo})$$

$$E_b(O) = \frac{2'7051.10^{-7}}{218} = 1,2409.10^{-9} J / nucleón$$

El átomo de oxígeno es más estable, pues que el de polonio

b)

$${}^{218}_{84}Po \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{214}_{82}X$$

${}^{214}_{82}X \rightarrow 2.{}^{0}_{-1}e + {}^{214}_{84}Y$ como podemos ver, la emisión α, seguida de dos emisiones β de átomo inicial conduce a la formación de un núcleo isótopo al primer, puesto que el nuevo nucleido formado contiene el mismo número de protones que el original; en cambio, si ha variado el número de neutrones, puesto que en cada una de las emisiones β , un neutrón se transforma en:

$${}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{1}_{1}p$$

El núcleo inicial poseía un número excesivo de neutrones, lo que le hacía poco estable. Mediante los procesos radiactivos seguidos, el núcleo se transforma en un isótopo (del mismo elemento) mucho más estable.

13. a) Enumere las interacciones fundamentales en la Naturaleza y explique las características de cada una.
b) ¿Cómo es posible la estabilidad de los núcleos a pesar de la fuerte repulsión eléctrica entre sus protones?

Denominamos fuerzas fundamentales a aquellas fuerzas de la naturaleza que no se pueden explicar en función de otras más básicas y que rigen los procesos en el mundo subatómico.

Las fuerzas o interacciones fundamentales conocidas hasta ahora son cuatro, ***gravitatoria***, ***electromagnética***, nuclear ***fuerte*** y nuclear ***débil***. Las dos primeras se descubrieron hace mucho tiempo, sin embargo, las nucleares son recientes, por haber sido estudiadas en el último siglo.

Puesto que son fuerzas que afectan a las partículas elementales, su investigación también necesitará de los *aceleradores* de alta energía. Lógicamente, el disponer de proyectiles de enormes energías nos permite profundizar en la estructura de los núcleos atómicos e ir descubriendo multitud de nuevas partículas, al mismo tiempo que observamos los diversos tipos de interacciones existentes entre ellas.

Aunque en la práctica el estudio de las fuerzas y de las partículas fundamentales se hace de manera conjunta, pues todo se integra en el modelo estándar que intenta explicar la constitución de la materia y las fuerzas fundamentales, en el presente artículo nos centraremos sólo en las fuerzas, con el fin de mejorar su comprensión.

Interacción gravitatoria: La interacción gravitatoria es la fuerza de atracción que una porción de materia ejerce sobre otra, y afecta a todos los cuerpos. Su intensidad es mínima entre las partículas que intervienen en los procesos atómicos, pero es importante a gran escala porque su alcance es infinito, aunque decrece de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, según la ley de Newton.

A pesar de ser tan débil, su importancia reside en que siempre es atractiva y por tanto, se acumula, aumentando con el número de partículas en juego. De este modo, la gravitación es la fuerza preponderante a escala macroscópica, a pesar de que se trata de la más débil de todas las interacciones. Es la responsable de la atracción universal entre los cuerpos, de la cohesión de los astros (planetas, estrellas, satélites...) y regula sus movimientos.

Einstein, en 1915, tras formular su teoría especial de la relatividad, sugirió que la gravedad no era una fuerza como las otras, sino una consecuencia de la deformación del espacio-tiempo por la presencia de masa (o energía, que es lo mismo), formulando su teoría general de la relatividad. Entonces, cuerpos como la Tierra no se mueven en órbitas cerradas porque haya una fuerza llamada gravedad, sino que describen trayectorias parecidas a líneas rectas, pero en un espacio-tiempo que se encuentra deformado por la presencia del Sol.

No cabe duda de que, en su época, la interpretación de Einstein era innovadora, no obstante, con todo, propuso una teoría de campo clásica, en el sentido de que no introduce los conceptos cuánticos que describen el mundo microscópico. Los intentos realizados por cuantizar la interacción gravitatoria, igual que las demás interacciones y de los que pronto hablaremos, implican la existencia de una partícula especial, el gravitón, de masa nula y número cuántico de espín 2, que no ha podido ser detectada aún.

Interacción electromagnética: La fuerza electromagnética afecta exclusivamente a los cuerpos con carga eléctrica y es la responsable de las transformaciones físicas y químicas de átomos y moléculas, donde une a los electrones y los núcleos. Es mucho más intensa que la fuerza gravitatoria y su alcance es también infinito. Sin embargo, no es acumulativa como la gravitación. Ahora, según el tipo de cargas presentes, las interacciones electromagnéticas son atractivas o repulsivas, de manera que la neutralidad eléctrica de la materia anula sus efectos a larga distancia.

A raíz del triunfo de la teoría general de la gravitación de Newton, el francés Coulomb la adaptó para explicar las fuerzas de atracción y repulsión experimentadas por los objetos cargados eléctricamente, demostrando que ésta era directamente proporcional al producto de las cargas eléctricas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. Mostró también, que las cargas de igual signo se atraen y las de distinto signo se repelen y que los cuerpos imanados también sufrían una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Experimentos posteriores realizados por el danés Oersted, el francés Ampère y el británico Faraday revelaron que los fenómenos eléctricos y magnéticos estaban relacionados. Fue cuando se descubrió la existencia del campo electromagnético, es decir que los fenómenos eléctricos y magnéticos poseen un origen común, las cargas eléctricas, ya estén en reposo o en movimiento.

El estudio del campo electromagnético fue sistematizado por el físico escocés J. C. Maxwell en su teoría electromagnética, en la que predijo que la transmisión de los campos eléctrico y magnético, perpendiculares entre sí, se realizaba ondulatoriamente a la velocidad de la luz. En el orden macroscópico, la teoría de Maxwell constituye un modelo de economía al unificar el tratamiento de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Ahora bien, cuando se aplica a las dimensiones atómicas la teoría del electromagnetismo se denomina electrodinámica cuántica, cuyos fundamentos se deben a Bethe, Tomonaga, Schwinger y Feynman, principalmente, en la cual se lleva a cabo una corrección cuántica de las ecuaciones de Maxwell.

Interacciones nucleares

Hasta hace sólo poco más de medio siglo nos bastaba suponer válida la ley de Coulomb para el estudio del átomo. Este escaso conocimiento permitió descubrir la existencia de un núcleo cargado positivamente y una corteza electrónica externa, con carga opuesta. La atracción entre el núcleo y los electrones se puede explicar por medio de la interacción electromagnética. Sin embargo, el descubrimiento de la radiactividad y concretamente, el de las desintegraciones de tipo beta, han llevado a pensar que ciertos átomos tienen un exceso de neutrones, algunos de los cuales se desintegran convirtiéndose en un protón, un electrón y un neutrino a través de un proceso regido por la interacción nuclear débil o de Fermi, que sólo se manifiesta a distancias de 10^{-17} ó 10^{-18} m, la fuerza de menor alcance.

La emisión de neutrinos fue propuesta por primera vez en 1929 por Wolfgang Pauli. Postuló que junto a los tres tipos de radiaciones conocidos, alfa, beta y gamma, debían emitirse otras partículas a las que llamó neutrinos y antineutrinos, sin carga eléctrica y cuya masa o bien era muy pequeña o bien era nula, como en el caso del fotón. En la emisión beta un neutrón se convierte en un protón, una situación no prevista ni en física clásica ni en física cuántica y que tanto desconcertó a los físicos de partículas, y se crean un electrón y un antineutrino.

En resumidas cuentas, la fuerza nuclear débil es la responsable de la desintegración beta de los neutrones y otros procesos similares. Recibe este nombre porque su intensidad es 10^{14} veces inferior que las interacciones fuertes, siendo su alcance de unos 10^{-18} m, aun menor que el de la interacción nuclear fuerte.

Las predicciones de Pauli se vieron confirmadas en el momento en que fueron descubiertos los neutrinos por Frederick Reines y Clyde Cowan, en Los Álamos, en 1956. El neutrino es el mejor ejemplo de las interacciones débiles. Aunque tiene una sección eficaz extremadamente baja y como consecuencia de ello muy poca interacción con la materia, es muy importante en astrofísica, pues los procesos termonucleares de las estrellas implican una producción masiva de neutrinos. Esto ha posibilitado su estudio, pues la escasa interacción se ve suplida por el gran número que se genera de ellos.

Experimentalmente, se ha demostrado que los neutrinos producidos en reacciones en las que interviene el electrón son distintos de los asociados a las otras partículas sometidas sólo a las interacciones débiles y no existe evidencia de que puedan ocurrir transiciones entre tipos distintos.

No obstante, en un núcleo atómico hallamos un buen número de protones reunidos en un espacio muy reducido, lo que hace pensar en una repulsión eléctrica muy elevada. No es posible entender muy bien la estabilidad de un átomo bajo este punto de vista. Para explicar la estabilidad de los núcleos, que contienen protones a una distancia increíblemente pequeña, Rutherford postuló la existencia de la interacción nuclear fuerte, una fuerza atractiva de corto alcance, unos 10^{-15} m, es decir, muy intensa para distancias del orden de los diámetros nucleares, capaz de vencer la repulsión electrostática entre los protones. Podemos afirmar que la fuerza o interacción nuclear fuerte es la que mantiene unidos los componentes de los núcleos atómicos y actúa indistintamente entre dos nucleones cualesquiera, protones o neutrones.

Comparando todas las interacciones, la menor, sin duda, es la interacción gravitatoria. Si a ésta la asignamos una intensidad de 1, la fuerza nuclear débil sería de 10^{17}, considerablemente mayor, seguida por la electromagnética, en torno a 10^{30} y la de mayor intensidad, la interacción nuclear fuerte, con 10^{32}. Teniendo en cuenta el especial carácter de las fuerzas nucleares al compararlas con las dos interacciones clásicas, es lógico suponer que su formulación no será similar a las ecuaciones de Newton y de Coulomb, sino que irá por otros derroteros. La descripción que actualmente se utiliza de la fuerza débil se realiza de manera unificada con la electromagnética en la denominada interacción electrodébil. Sus autores, Sheldon Glashow, Abdus Salam y Steven Weinberg, recibieron el Premio Nobel de Física 1979 por su trabajo. La teoría actual de la interacción fuerte, debida principalmente a Yang y Mills, fue completada a mitad de los años 70 y se llama cromodinámica cuántica, desarrollada por analogía con la electrodinámica de Feynman y colaboradores

b) El apartado anterior responde la cuestión.

14. El ^{131}I es un isótopo que se utiliza en medicina para el tratamiento del hipertiroidismo, ya que se concentra en la glándula tiroides. Su período de semidesintegración es de 8 días.
    a) Explique cómo ha cambiado una muestra de 20 mg de ^{131}I tras estar almacenada en un hospital durante 48 días.
    b) ¿Cuál es la actividad de un microgramo de ^{131}I?

Datos: $N_A = 6'02.10^{23}\ mol^{-1}$

a)

$$\left.\begin{array}{l} \tau_{\frac{1}{2}} = 8 días \\ m = 20.10^{-3}\,g \\ t = 48 días \end{array}\right] \rightarrow \tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow 8 = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{8} = 8'66.10^{-2}\ día^{-1}$$

$$m = m_0.e^{-\lambda.t} \rightarrow m = 20.10^{-3}.e^{-8'66.10^{-2}.48} = 3'125.10^{-4}\ gr$$

b) La actividad es la velocidad de desintegración de una muestra radiactiva.

$$\frac{-dN}{dt} \equiv A_c = \lambda.N$$

donde N es el nº de núcleos en ese instante.

$$A_c = 8'66.10^{-2}.N$$

Para determinar N :

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{PA}}.N_{AV} = \frac{10^{-6}}{131}.6'022.10^{23} = 4'60.10^{15}\ núcleos$$

Luego :

$$A_c = 8'66.10^{-2}.4'60.10^{15} = 3'98.10^{14}\ \frac{núcleos}{día} \equiv 4'61.10^{9}\ \frac{núcleos}{sg}$$

15. En un proceso de desintegración el núcleo radiactivo emite una partícula alfa. La constante de desintegración de dicho proceso es 2.10^{-10} s^{-1}
   a) Explique cómo cambian las características del núcleo inicial y escriba la ley que expresa el número de núcleos sin transformar en función del tiempo.
   b) Si inicialmente había 3 moles de dicha sustancia radiactiva, ¿cuántas partículas alfa se han emitido al cabo de 925 años? ¿Cuántos moles de He se han formado después de dicho tiempo?

$N_A = 6'02.10^{23}$ mol^{-1}

a) La emisión de una partícula alpha da lugar a un nuevo núcleo que crece dos unidades de número atómico y cuatro unidades de número másico:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He^{2+}$$

La ley de desintegración radiactiva puede expresarse en función del número de núcleos:

$$N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

, o bien en función de la masa de muestra:

$$\left.\begin{array}{l} n = \dfrac{m}{PM} \\ N = n.N_{AV} \end{array}\right\} \rightarrow \frac{m}{PM} = \frac{N}{N_{AV}} \rightarrow N = \frac{m}{PM}.N_{AV}$$

, con lo que la ecuación $N = N_0.e^{-\lambda.t}$ puede reescribirse como:

$$\left(\frac{m}{PM}.N_{AV}\right) = \left(\frac{m_0}{PM}.N_{AV}\right).e^{-\lambda.t} \rightarrow m = m_0.e^{-\lambda.t}$$

b)

$$\lambda = 2.10^{-10}\ \text{sg}^{-1} = 6'307.10^{-3}\,año^{1}$$

$$n_0 = 3moles$$

$$t = 925años$$

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} = \frac{Ln2}{6'307.10^{-3}} = 3'465.10^{9}\,sg \equiv 109'87años$$

$$n = n_0.e^{-\lambda.t} \rightarrow n = 3.e^{-6'307.10^{-3}.925} = 8'77.10^{-3}\ \text{moles restantes}$$

Por tanto, se han desintegrado:

$$3 - 8'77.10^{-3} = 2'99123moles$$

multiplicando por el número de Avogadro:

$2'99123 \times 6'02.10^{23} = 1'8007.10^{24}$ núcleos $\equiv 1'8007.10^{24}$ particulas alpha emitidas

, que equivalen a 2´99123 moles de partículas alpha

16. Escriba la ley de desintegración radiactiva y explique el significado de cada símbolo. b) Un núcleo radiactivo tiene un periodo de semidesintegración de 1 año. ¿Significa esto que se habrá desintegrado completamente en dos años? Razone la respuesta.

a)

Se ha observado que todos los procesos radiactivos simples siguen una ley exponencial decreciente. Si N_0 es el número de núcleos radiactivos en el instante inicial, después de un cierto tiempo t, el número de núcleos radiactivos presentes N se ha reducido a $N = N_0.e^{-\lambda.t}$

,donde λ es una característica de la sustancia radiactiva denominada constante de desintegración.

La ley de desintegración puede deducirse del siguiente modo: si λ es la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo, la probabilidad de que un núcleo se desintegre en un tiempo dt es λ ·dt. Si hay N núcleos presentes, en el tiempo dt podemos esperar que se desintegren (λdt)N núcleos, Por tanto, podemos escribir: $dN = -(\lambda.dt).N$

El signo menos aparece por que N disminuye con el tiempo a consecuencia de la desintegración.

Para ver como de "activa" es una muestra se mide la velocidad de desintegración de la muestra, es decir el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo.

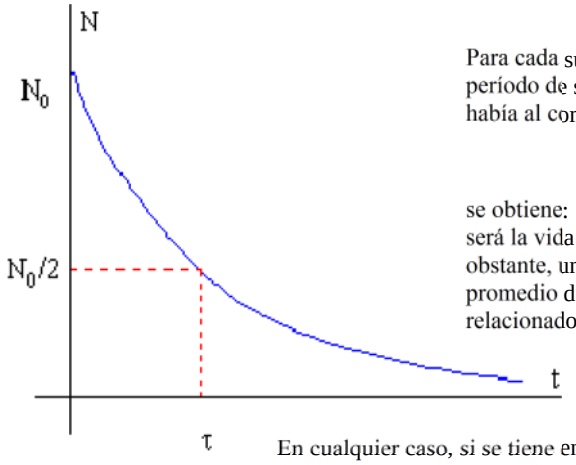
$$A_C = \frac{-dN}{dt} = \lambda.N$$

La unidad en la que se mide la actividad es el Becquerelio ,Bq, en honor a Henri Becquerel.
1 Bq = 1 d.p.s (desintegración por segundo)

Integrando esta ecuación obtenemos la ley exponencial decreciente.

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_{0}^{t} \lambda.dt \rightarrow N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

,N_0 es el número inicial de núcleos radioactivos presentes en el instante t=0.La gráfica de la ecuación integrada resulta ser:



Para cada sustancia radiactiva hay un intervalo $\tau_{\frac{1}{2}}$ fijo, denominado período de semidesintegración, durante el cual el número de núcleos que había al comienzo se reduce a la mitad. Poniendo en la ecuación $N=N_0/2$ se obtiene: $\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda}$ Por otro lado, resulta imposible determinar cuál será la vida de un determinado núcleo de la muestra. Se utiliza, no obstante, una magnitud, denominada vida media, que representa el valor promedio de vida de un núcleo cualquiera. Se simboliza por τ, y se halla relacionado con la constante de desintegración por medio de la ecuación:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

En cualquier caso, si se tiene en cuenta la relación entre la masa de una muestra y el número de núcleos:

$$\left.\begin{array}{l} n = \dfrac{m}{PM} \\ N = n.N_{AV} \end{array}\right\} \rightarrow \frac{m}{PM} = \frac{N}{N_{AV}} \rightarrow N = \frac{m}{PM}.N_{AV}$$

la ecuación $N = N_0.e^{-\lambda.t}$ puede reescribirse como:

$$\left(\frac{m}{PM}.N_{AV}\right) = \left(\frac{m_0}{PM}.N_{AV}\right).e^{-\lambda.t} \rightarrow m = m_0.e^{-\lambda.t}$$

b) No, en absoluto

El período de semidesintegración es el tiempo en el que una cierta cantidad de material radiactivo se reduce a la mitad. Por tanto, transcurrido un primer período restará sin desintegrar 50% de la muestra inicial. Tras un segundo período de semidesintegración, quedará un 50% de la cantidad anterior. Es decir, la mitad de la mitad de la cantidad inicial, o lo que es lo mismo, el 50%. Matemáticamente:

$$\left.\begin{array}{l} \tau_{\frac{1}{2}} = \dfrac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \dfrac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}} = Ln2 \;\; año^{-1} \\ m = m_0.e^{-\lambda.t} \\ t = 2.\tau_{\frac{1}{2}} = 2.1 = 2años \end{array}\right\} \rightarrow m = m_0.e^{-Ln2.2.1} = m_0.e^{-2.Ln2} \rightarrow 0'25.m_0$$

17. La vida media del ^{55}Fe es de 2,6 años. a) Explique las características del proceso de desintegración e indique el significado de periodo de semidesintegración y vida media. b) Calcule la constante de desintegración radiactiva y el tiempo en que 1 mg de muestra se reduce a la mitad.

www $\tau = 2'6 años$

a) Se ha observado que todos los procesos radiactivos simples siguen una ley exponencial decreciente. Si N_0 es el número de núcleos radiactivos en el instante inicial, después de un cierto tiempo t, el número de núcleos radiactivos presentes N se ha reducido a $N = N_0.e^{-\lambda.t}$

,donde λ es una característica de la sustancia radiactiva denominada constante de desintegración.
La ley de desintegración puede deducirse del siguiente modo: si λ es la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo, la probabilidad de que un núcleo se desintegre en un tiempo dt es λ ·dt. Si hay N núcleos presentes, en el tiempo dt podemos esperar que se desintegren (λdt)N núcleos, Por tanto, podemos escribir: $dN = -(\lambda.dt).N$

El signo menos aparece por que N disminuye con el tiempo a consecuencia de la desintegración.

Para ver como de "activa" es una muestra se mide la velocidad de desintegración de la muestra, es decir el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo.

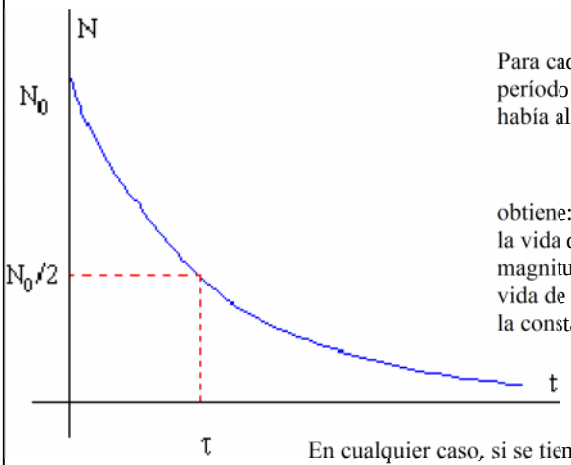
$$A_C = \frac{-dN}{dt} = \lambda.N$$

La unidad en la que se mide la actividad es el Becquerelio ,Bq, en honor a Henri Becquerel.
1 Bq = 1 d.p.s (desintegración por segundo)

Integrando esta ecuación obtenemos la ley exponencial decreciente.

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda.dt \rightarrow N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

,N_0 es el número inicial de núcleos radioactivos presentes en el instante t=0.La gráfica de la ecuación integrada resulta ser:



Para cada sustancia radiactiva hay un intervalo $\tau_{\frac{1}{2}}$ fijo, denominado período de semidesintegración, durante el cual el número de núcleos que había al comienzo se reduce a la mitad. Poniendo en la ecuación $N=N_0/2$ se obtiene: $\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda}$ Por otro lado, resulta imposible determinar cuál será la vida de un determinado núcleo de la muestra. Se utiliza, no obstante, una magnitud, denominada vida media, que representa el valor promedio de vida de un núcleo cualquiera. Se simboliza por τ, y se halla relacionado con la constante de desintegración por medio de la ecuación:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

En cualquier caso, si se tiene en cuenta la relación entre la masa de una muestra y el número de núcleos:

$$\left.\begin{array}{l} n = \dfrac{m}{PM} \\ N = n.N_{AV} \end{array}\right\} \rightarrow \frac{m}{PM} = \frac{N}{N_{AV}} \rightarrow N = \frac{m}{PM}.N_{AV}$$

la ecuación $N = N_0.e^{-\lambda.t}$ puede reescribirse como:

$$\left(\frac{m}{PM}.N_{AV}\right) = \left(\frac{m_0}{PM}.N_{AV}\right).e^{-\lambda.t} \rightarrow m = m_0.e^{-\lambda.t}$$

b) Las magnitudes que se piden calcular pueden ser determinadas muy fácilmente, en función de las relaciones expuestas en el apartado anterior. Así:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{1}{2'6} = 0'385\ año^{-1}$$

Si una muestra radiactiva de 1 mg se reduce a la mitad, habrá transcurrido un período de semidesintegración:

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{0'385} = 1'80\ años$$

Otro modo:

$$m = m_0.e^{-\lambda.t} \rightarrow 0'5 = 1.e^{-0'385.t} \rightarrow t = 1'80 \text{ años}$$

(Ese tiempo es el tiempo de semidesintegración)

18. En el año 1898 Marie y Pierre Curie aislaron 200 mg de radio, cuyo periodo de semidesintegración es 1620 años. a) ¿A qué cantidad de radio han quedado reducidos en la actualidad los 200 mg iniciales? b) ¿Qué tanto por ciento se habrá desintegrado dentro de 500 años?

a)

$\tau_{\frac{1}{2}} = 1620 años$

$m_0 = 200.10^{-3} gr$

$m(actual)$?

m(dentro de 500 años)?

La ley de la desintegración radiactiva viene dada por la expresión $N = N_0.e^{-\lambda.t}$, o, en términos de masa:

$m = m_0.e^{-\lambda.t}$.

Por otro lado, se conoce como período de semidesintegración de una sustancia radiactiva al intervalo $\tau_{\frac{1}{2}}$ fijo, denominado durante el cual el número de núcleos que había al comienzo se reduce a la mitad. Poniendo en la ecuación $N=N_0/2$ se obtiene:

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda}$$

Por lo tanto:

$$1620 = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{1620} = 4´28.10^{-4} años$$

Utilizando ahora la ley de desintegración, y teniendo en cuenta que el tiempo transcurrido son 109 años:

$$m = 200.e^{-4´28.10^{-4}.109} \rightarrow m = 190´88mg$$

b) Repetiremos el mismo procedimiento considerando que para dentro de 500años, el tiempo transcurrido desde el aislamiento de la muestra será de 609 años:

$$m = 200.e^{-4´28.10^{-4}.609} \rightarrow m = 154´11mg$$

Para conocer el tanto por ciento desintegrado, necesitaremos en primer lugar conocer la cantidad desintegrada: 200-154´11=45´89mg desintegrados.

Así:

% desintegrado: $\frac{45´89}{200}.100 = 22´94\%$

19. Comente cada una de las frases siguientes: a) Isótopos son aquellos núclidos de igual número atómico pero distinto número másico. b) Si un núclido emite una partícula alfa, su número másico decrece en dos unidades y su número atómico en una.

a) El término **nucleido, o núclido** se aplica a todos los átomos que poseen el mismo número atómico y el mismo número másico. Simbólicamente cada nucleido se representa por ${}^{A}_{Z}X$, donde X es el símbolo del elemento químico al que pertenece, y A y Z, son sus números másico y atómico, respectivamente.
Por tanto, la definición de isótopos como aquellos átomos con igual Z pero distinto A (igual número de protones pero distinto de neutrones) es equivalente a decir que se trata de núclidos de igual Z pero distinto A, puesto que Z, el número atómico, indica el número de protones, y A, número másico, equivale al número de nucleones (protones + neutrones).

b) Falso. Cuando un núclido sufre una desintegración con emisión alpha, sucede que:

$${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He^{2+}$$

En el proceso un núcleo cualquiera de número másico A y número atómico Z, se convierte en otro núcleo Y con número másico A-4 y nº atómico Z-2, y se emite una partícula alfa. (1ª Ley de Soddy-Fajans):

Este tipo de radiación la emiten núcleos de elementos pesados situados al final de la tabla periódica (A >100), con muchos protones y en los que la repulsión eléctrica es muy fuerte, por lo que tienden a obtener un N aproximadamente igual a Z, y para ello emiten una partícula alfa. En el proceso se desprende mucha energía que se convierte en la energía cinética de la partícula alfa, es decir que estas partículas salen con velocidades muy altas.

20. a) Algunos átomos de nitrógeno (${}^{14}_{7}N$) atmosférico chocan con un neutrón y se transforman en carbono (${}^{14}_{6}C$) que, por emisión β, se convierte de nuevo en nitrógeno. Escriba las correspondientes reacciones nucleares.

b) Los restos de animales recientes contienen mayor proporción de ${}^{14}_{6}C$ que los restos de animales antiguos. ¿A qué se debe este hecho y qué aplicación tiene?

a)

$$\left.\begin{array}{l} {}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}p \\ {}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}e \end{array}\right\} \text{Cuyo balance general puede escribirse como:} \quad {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e$$

b) Las propiedades químicas de los diferentes isótopos son idénticas. Así, los átomos de carbono se combinan de idéntico como con el oxígeno atmosférico para dar dióxido de carbono (teniendo en cuenta las abundancias relativas de cada uno de estos isótopos). Este CO_2 se incorporará en primer lugar a las estructuras de las plantas, para pasar, posteriormente a las estructuras del resto de animales, siguiendo la cadena alimenticia.
Puesto que los seres vivos intercambian continuamente CO_2 con el exterior (atmósfera), la relación entre las abundancias relativas de los distintos isótopos de C es prácticamente constante a lo largo de toda la vida del ser vivo, e igual a las proporciones existentes en la atmósfera.
Sin embargo, cuando el organismo muere, se interrumpe esa relación, puesto que dejan de incorporarse átomos de carbono, ya que los isótopos de carbono-14 siguen su proceso de desintegración (sin que haya ahora "reposición" de esos nuevos isótopos), de modo que su cantidad disminuye con el tiempo.
Tan sólo será suficiente determinar el número de desintegraciones que se producen por unidad de masa de carbono (por ejemplo 1 gramo), para determinar, conocido el período de semidesintegración de este isótopo), la fecha de muerte del organismo.

22. El ${}^{12}_{5}B$ se desintegra radiactivamente en dos etapas: en la primera, el núcleo resultante es ${}^{12}_{6}C*$ (*=estado excitado) y en la segunda, el ${}^{12}_{6}C*$ se desexcita, dando ${}^{12}_{6}C$ (estado fundamental).

a) Escriba los procesos de cada etapa, determinando razonadamente el tipo de radiación emitida en cada caso.
b) Calcule la frecuencia de la radiación emitida en la segunda etapa si la diferencia de energía entre los estados energéticos del isótopo del carbono es de 4,4 MeV.
h = 6,6.10 $^{-34}$ J s ; e = 1,6.10 $^{-19}$ C

$${}^{12}_{5}B \rightarrow {}^{12}_{6}C* + {}^{0}_{-1}e$$
$${}^{12}_{6}C* \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma$$

Ambos procesos han de cumplir la conservación de Z y A

Por tanto, se trata de una desintegración beta seguida de una emisión gamma.

b)

$$\delta E = 4´4MeV = 4´4.10^{6}\,eV \equiv 4´4.10^{6}.1´6.10^{-19} = 7´04.10^{-13}\,J$$

$$\delta E = h.\nu \rightarrow 7´04.10^{-13} = 6´64.10^{-34}.\nu \rightarrow \nu = 1´06.10^{21}\,Hz$$

23. a) Enuncie la ley de desintegración radiactiva e indique el significado físico de cada uno de los parámetros que aparecen en ella.
b) ¿Por qué un isótopo radiactivo de período de semidesintegración muy corto (por ejemplo, dos horas) no puede encontrarse en estado natural y debe ser producido artificialmente?

a) Se ha observado que todos los procesos radiactivos simples siguen una ley exponencial decreciente. Si N_0 es el número de núcleos radiactivos en el instante inicial, después de un cierto tiempo t, el número de núcleos radiactivos presentes N se ha reducido a : $N = N_0.e^{-\lambda.t}$

,donde λ es una característica de la sustancia radiactiva denominada constante de desintegración.
La ley de desintegración puede deducirse del siguiente modo: si λ es la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo, la probabilidad de que un núcleo se desintegre en un tiempo dt es λ ·dt. Si hay N núcleos presentes, en el tiempo dt podemos esperar que se desintegren (λdt)N núcleos, Por tanto, podemos escribir:

$dN = -(\lambda.dt).N$ (1)

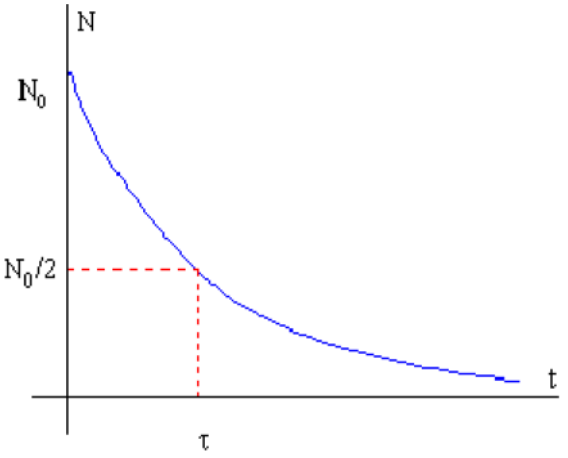
El signo menos aparece por que N disminuye con el tiempo a consecuencia de la desintegración.
Para ver como de "activa" es una muestra se mide la velocidad de desintegración de la muestra, es decir el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo.

$$A_C = \frac{-dN}{dt} = \lambda.N$$

Integrando la ecuación (1) obtenemos la ley exponencial decreciente.

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda.dt \rightarrow N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

N_0 es el número inicial de núcleos radioactivos presentes en el instante t=0.
La gráfica de la ecuación integrada resulta ser:



Para cada sustancia radiactiva hay un intervalo $\tau_{\frac{1}{2}}$ fijo, denominado período de semidesintegración, durante el cual el número de núcleos que había al comienzo se reduce a la mitad.
Poniendo en la ecuación $N=N_0/2$ se obtiene:

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda}$$

Por otro lado, resulta imposible determinar cuál será la vida de un determinado núcleo de la muestra. Se utiliza, no obstante, una magnitud, denominada vida media, que representa el valor promedio de vida de un núcleo cualquiera. Se simboliza por τ, y se halla relacionado con la constante de desintegración por medio de la ecuación:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

En cualquier caso, si se tiene en cuenta la relación entre la masa de una muestra y el número de núcleos:

$$\left.\begin{array}{l} n = \dfrac{m}{PM} \\ N = n.N_{AV} \end{array}\right\} \rightarrow \frac{m}{PM} = \frac{N}{N_{AV}} \rightarrow N = \frac{m}{PM}.N_{AV}$$

la ecuación $N = N_0.e^{-\lambda.t}$ puede reescribirse como:

$$\left(\frac{m}{PM}.N_{AV}\right) = \left(\frac{m_0}{PM}.N_{AV}\right).e^{-\lambda.t} \rightarrow m = m_0.e^{-\lambda.t}$$

b) Si suponemos que estos nucleidos están presentes desde el nacimiento de la Tierra, unos 5000 millones de años, la cantidad existente en la actualidad deberá ser prácticamente nula. Si se consiguen crear en laboratorio, y en cantidades suficientemente apreciables como para realizar su seguimiento, se dispondría del tiempo suficiente para tener constancia de su existencia y así poder analizar sus características.
Pero demostremos lo dicho:

$$Si \quad \tau_{\frac{1}{2}} = 2h \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}} = 0'347 años$$

$N = N_0.e^{-0'347.t} \rightarrow$ Si N_0 es el nº de núcleos existentes en el momento de la formación de la Tierra, y, además:

$$t = 5.10^9 años = 4'24.10^{15} horas$$

por lo que: $N = N_0.e^{0'347.t} \rightarrow N = N_0.e^{-0'347.4'24.10^{15}} \rightarrow N = N_0.e^{-1'47.10^{15}} \rightarrow N \cong 0$

24. Suponga una central nuclear en la que se produjera energía a partir de la siguiente reacción nuclear de fusión:

$4\ {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{16}_{8}O$

a) Determine la energía que se produciría por cada kilogramo de helio que se fusionase.

b) Razone en cuál de los dos núcleos anteriores es mayor la energía de enlace por nucleón.

c = 3.10^{8} m s^{-1} ; 1u = $1{,}66.10^{-27}$ kg ; m (${}^{4}_{2}He$) = 4,0026 u ; m (${}^{16}_{8}O$) = 15,9950 u

a) La energía producida en la reacción se calcularía a partir del defecto de masa producido:

$$\delta m = 4.m_{He} - m_o = 4.4'0026 - 15'9950 = 0{,}0154\text{uma}$$

$$\delta m = 0{,}0154 \times 1'66.10^{-27} = 2'57.10^{-29}\ Kg$$

Luego :

$$\delta E = \delta m.c^2 \rightarrow \delta E = 2'57.10^{-29}.9.10^{16} = 2'3008.10^{-12}\ J$$

Puesto que se trata de la energía liberada en un proceso en el que se hallan implicados cuatro núcleos, la energía liberada por núcleo será:

$$\delta E = \frac{2'3008.10^{-12}\ J}{4\ \text{átomos}} = 5{,}752.10^{-13}\ J\ /\ \text{átomo}$$

En 1 Kg de helio, tendríamos:

$$\frac{1000}{4} \times 6'022.10^{23} = 1{,}506.10^{26}\ \text{átomos}$$

Por lo que la energía liberada por ellos sería:

$$1{,}506.10^{26} \times 5'752.10^{-13} = 8{,}660.10^{13}\ J$$

b) Se denomina energía de enlace por nucleón a la relación (cociente) entre la energía asociada al defecto de masa producido al formarse un núcleo y el número de nucleones (el número másico). Matemáticamente:

$$E_b = \frac{\delta E}{A} = \frac{\delta m.c^2}{A}$$

Puesto que el problema no aporta los suficientes datos, el problema no puede resolverse. Necesitaríamos como datos los valores de las masas de cada uno de los núcleos, así como de las masas de protones y neutrones. De este modo:

$$\begin{cases} \delta m(O) = 8.m_p + 8.m_n - m_O \\ \delta m(He) = 2.m_p + 2.m_n - m_{He} \end{cases}$$

Sin embargo, puesto que la reorganización de los 16 nucleones (pasando de cuatro agrupaciones de cuatro nucleones (núcleos de He) a una sola agrupación de 16 nucleones (núcleo de oxígeno)) es espontánea y se realiza con desprendimiento energético, la energía de enlace por nucleón debe ser mayor en el oxígeno que en el helio.

25. El ${}^{237}_{94}Pu$ se desintegra, emitiendo partículas alfa, con un periodo de semidesintegración de 45,7 días.

a) Escriba la reacción de desintegración y determine razonadamente el número másico y el número atómico del elemento resultante.

b) Calcula el tiempo que debe transcurrir para que la actividad de una muestra de dicho núclido se reduzca a la octava parte.

a)

$${}^{237}_{94}Pu \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{A}_{Z}Y$$

Para determinar los números atómico y másico se tendrá en cuenta que el proceso habrá de cumplir la conservación del número másico y del número atómico. Entonces:

$$\left.\begin{cases} 237 = 4 + A \rightarrow A = 233 \\ 94 = 2 + Z \rightarrow Z = 92 \end{cases}\right\} \rightarrow {}^{233}_{92}Y$$ (El núclido con Z=92 es el uranio)

b)

$$\tau_{\frac{1}{2}} = 45'7 días$$

La actividad de un núclido equivale al número de núcleos que se desintegran en la unidad de tiempo; es decir, es la velocidad de desintegración de los núcleos radiactivos de una determinada muestra. La actividad de una sustancia radiactiva depende, por un lado, de la propia naturaleza de la sustancia radiactiva, y, por otro, del nº de núcleos existente, es decir de la cantidad de muestra. Matemáticamente:

$$A_C \equiv \frac{dN}{dt} = -\lambda.dt$$

Esta ecuación diferencial puede integrarse entre dos instantes. La ecuación resultante es:

$$N = N_0.e^{-\lambda.t}$$

Por otro lado, el período de semidesintegración es el tiempo necesario para que en una determinada muestra se reduzca a la mitad el número de núcleos radiactivos. Esta magnitud es igual a:

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}} \rightarrow \lambda = \frac{0'693}{45'7} = 1'52.10^{-2} \text{ día}^{-1}$$

Puesto que la actividad debe reducirse a 1/8:

$$N = N_0.e^{-\lambda.t} \rightarrow \frac{N_0}{8} = N_0.e^{-1'52.10^{-2}.t} \rightarrow \frac{1}{8} = e^{-1'52.10^{-2}.t} \rightarrow Ln\frac{1}{8} = -1'52.10^{-2}.t \rightarrow$$

$$\rightarrow Ln8 = 1'52.10^{-2}.t \rightarrow t = \frac{Ln8}{1'52.10^{-2}} = 136'81 \text{ día}$$

26. a) Describa las características de los procesos de emisión radiactiva alfa, beta y gamma.
b) Uno de ellos consiste en la emisión de electrones. ¿Cómo es posible que un núcleo emita electrones? Razone su respuesta.

a) La desintegración es un proceso por el que un núcleo inestable se transforma en otro más estable. Tal proceso puede realizarse de maneras diferentes:

- RADIACIÓN ALFA.

Es un tipo de radiación poco penetrante que puede ser detenida por una simple hoja de papel. Rutherford sugirió que los rayos alfa son iones de átomos de Helio (He^{2+}) moviéndose rápidamente, y en 1909 lo demostró experimentalmente.

Este tipo de radiación la emiten núcleos de elementos pesados situados al final de la tabla periódica (A >100), con muchos protones y en los que la repulsión eléctrica es muy fuerte, por lo que tienden a obtener un N aproximadamente igual a Z, y para ello emiten una partícula alfa. En el proceso se desprende mucha energía que se convierte en la energía cinética de la partícula alfa, es decir que estas partículas salen con velocidades muy altas.

En el proceso un núcleo cualquiera de número másico A y número atómico Z, se convierte en otro núcleo Y con número másico A-4 y nº atómico Z-2, y se emite una partícula alfa. (1ª Ley de Soddy-Fajans):

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He^{2+}$$

Como ejemplo tendríamos las siguientes desintegraciones:

$$^{235}U \rightarrow ^{231}Th + ^{4}_{2}He^{2+}$$

$$^{226}Ra \rightarrow ^{222}Rn + ^{4}_{2}He^{2+}$$

$$^{210}Po \rightarrow ^{206}Pb + ^{4}_{2}He^{2+}$$

Las emisiones alfa son desviadas por campos eléctricos y magnéticos. Son poco penetrantes aunque muy ionizantes, y son muy energéticas.

Por otro lado, si se considera el fenómeno como un proceso que cede al sistema un gran contenido de energía (en forma de energía cinética de la partícula alfa), es sencillo darse cuenta de que la masa (energía) del segundo miembro será inferior a la del primer miembro. El defecto de masa se corresponderá con la energía cinética de la partícula desprendida (alpha).

- RADIACIÓN BETA.

Su poder de penetración es mayor que las alfa. Son frenadas por metros de aire, una lámina de aluminio o unos cm de agua. Existen tres tipos de radiación beta.

- Radiación β^- (beta menos).

Aparece para cualquier tipo de núcleo, pero es típica de núcleos con exceso de neutrones, es decir N>Z. Es un mecanismo usado por los núcleos para llegar a la línea de estabilidad (N aproximadamente igual Z)

La radiación β^- consiste en la emisión espontánea de electrones por parte de los núcleos, pero en el núcleo sólo hay protones y neutrones, ¿cómo puede emitir electrones? En 1934 Fermi explicó esta radiación suponiendo que en la desintegración beta menos, un neutrón se transforma en un protón, un electrón y un antineutrino mediante la reacción:

$$^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e \quad \text{(2ª Ley de Soddy)}$$

, donde, $^{0}_{0}\overline{\nu}_e$ es una partícula de antimateria, denominada antineutrino del electrón.
La emisión beta menos da como resultado otro núcleo distinto con un protón más, la reacción sería:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e^- + ^{0}_{0}\overline{\nu}_e$$

- Radiación β^+ (beta mas).

Mediante este mecanismo **un núcleo emite espontáneamente positrones**, e^+, antipartículas del electrón de igual masa pero con carga eléctrica opuesta.

Lo que ocurre es que un protón del núcleo se desintegra dando lugar a un neutrón, un positrón o partícula Beta+ y un neutrino. Así el núcleo se desprende de los protones que le sobran y se acercan a la línea de estabilidad N = Z. Por ello se da en núcleos con exceso de protones. La reacción sería:

, donde, ${}^{0}_{0}\nu_e$ es una partícula de antimateria, denominada neutrino del electrón, y ${}^{0}_{+1}\overline{e}^{+}$ es el antielectrón o positrón.

Algunos ejemplos son:

$$^{30}P \rightarrow {}^{30}Si + e^{+}$$

$$^{40}K \rightarrow {}^{40}Ar + e^{+}$$

$$^{53}Fe \rightarrow {}^{53}Mn + e^{+}$$

Este tipo de **radiación es típica de núclidos con deficiencia de neutrones**.

- Captura electrónica orbital

Se da en núcleos con **exceso de protones (deficiencia de neutrones**). Los núcleos pueden captar un electrón de la corteza electrónica (de la capa K, menos energética), que se unirá a un protón del núcleo para dar un neutrón:

$${}^{1}_{1}p^{+} + {}^{0}_{-1}e^{-} \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{0}\nu$$

$${}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e^{-} \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \nu$$

Como vemos, el núclido resultante es el mismo que el que resulta en la emisión β^{+}, aunque en este caso no existe emisión de positrones, aunque sí una emisión de rayos X.

- RADIACIÓN GAMMA.

En este tipo de radiación el núcleo no pierde su identidad. Mediante esta radiación el núcleo se desprende de la energía que le sobra para pasar a otro estado de energía más baja. Emite rayos gamma, o sea fotones muy energéticos. Este tipo de emisión acompaña a las radiaciones alfa y beta.

Es una radiación muy penetrante, atraviesa el cuerpo humano y sólo se frena con planchas de plomo y muros gruesos de hormigón. Al ser tan penetrante y tan energética, de los tres tipos de radiación es la más peligrosa.

$${}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$$

b) Se trata de la radiación beta. Y la pregunta ya ha sido contestada en a)

27. El ${}^{226}_{88}Ra$ se desintegra radiactivamente para dar ${}^{222}_{86}Rn$.

a) Indique el tipo de emisión radiactiva y escriba la correspondiente ecuación.

b) Calcule la energía liberada en el proceso.

$c = 3.10^{8}$ m s^{-1} ; m_{Ra} = 225,9771 u ; m_{Rn} = 221,9703 u ; m_{He} = 4,0026 u ; 1 u = 1,67.10^{-27} kg

a)

$${}^{226}_{88}Ra \rightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

Se trata de una emisión alpha, puesto que es el único proceso para el que se conservan tanto A como Z.

b)

$$\left.\begin{array}{l} \delta E = \delta m.c^{2} \\ \delta m = (m_{Ra}) - (m_{He} + m_{Rn}) = (4'0026 - 225'9771) - 221'9703 = 0{,}0042\text{u} \equiv 7'01.10^{-30}\,Kg \end{array}\right\}$$

Por lo tanto :

$$\delta E = 7'01.10^{-30}.(3.10^{8})^{2} = 6'31.10^{-11}\,J\,/\,nucleo$$

28. El periodo de semidesintegración del ^{226}Ra es de 1620 años.

a) Explique qué es la actividad y determine su valor para 1 g de ^{226}Ra

b) Calcule el tiempo necesario para que la actividad de una muestra de ^{226}Ra quede reducida a un dieciseisavo de su valor original.

$N_A = 6{,}02.10^{23}\ mol^{-1}$

$\tau_{\frac{1}{2}} = 1620 años$

$^{222}_{86}Ra$

La actividad de un núclido equivale al número de núcleos que se desintegran en la unidad de tiempo; es decir, es la velocidad de desintegración de los núcleos radiactivos de una determinada muestra. La actividad de una sustancia radiactiva depende, por un lado, de la propia naturaleza de la sustancia radiactiva, y, por otro, del nº de núcleos existente, es decir de la cantidad de muestra. Matemáticamente:

$$A_C \equiv \frac{dN}{dt} = -\lambda.N$$

Esta ecuación diferencial puede integrarse entre dos instantes. La ecuación resultante es:

$N = N_0.e^{-\lambda.t}$

o , utilizando masas:

$$m = m_0.e^{-\lambda.t}$$

Por otro lado, el período de semidesintegración es el tiempo necesario para que en una determinada muestra se reduzca a la mitad el número de núcleos radiactivos. Esta magnitud es igual a:

$$\tau_{\frac{1}{2}} = \frac{Ln2}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{Ln2}{\tau_{\frac{1}{2}}} \rightarrow \lambda = \frac{0'693}{1620} = 4'28.10^{-4}\ \text{año}^{-1}$$

Para determinar, entonces, la actividad de un gramos de sustancia:

$$A_C = -\lambda.N = 4'28.10^{-4}\left(\frac{1}{222}.6'022.10^{23}\right) = 1'16.10^{18}\ \frac{núcleos}{año} = 3'68.10^{10}\ \frac{núcleos}{sg}$$

b) Como se ha indicado: $N = N_0.e^{-\lambda.t}$, que, para nuestro caso:

$$\frac{N_0}{16} = N_0.e^{-\lambda.t} \rightarrow \frac{1}{16} = e^{-\lambda.t} \rightarrow Ln\frac{1}{16} = -\lambda.t \rightarrow Ln16 = \lambda.t \rightarrow t = \frac{Ln16}{\lambda} = \frac{Ln16}{4'28.10^{-4}} = 4186'35 años$$