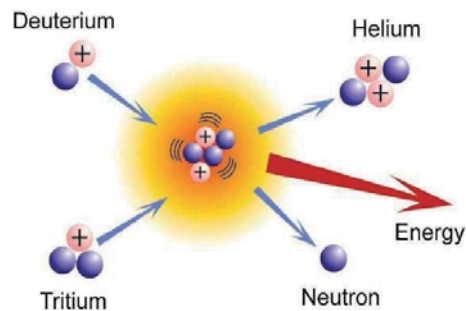


Tema 12

Física nuclear



IES Padre Manjón
Prof: Eduardo Eisman

12. Física nuclear: índice

CONTENIDOS	
1. El camino hacia el núcleo atómico · 2. El descubrimiento del núcleo · 3. Tamaño y densidad de los núcleos · 4. Estabilidad del núcleo · 5. Núcleos inestables: la radiactividad natural · 6. Reacciones nucleares · 7. Interacciones fundamentales de la naturaleza · 8. La estructura más íntima de la materia · 9. La evolución del universo. Teoría del <i>big bang</i>	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
12. Distinguir los distintos tipos de radiaciones y su efecto sobre los seres vivos.	12.1. Describe los principales tipos de radiactividad incidiendo en sus efectos sobre el ser humano, así como sus aplicaciones médicas.
13. Establecer la relación entre la composición nuclear y la masa nuclear con los procesos nucleares de desintegración.	13.1. Obtiene la actividad de una muestra radiactiva y valora los datos para la datación de restos arqueológicos. 13.2. Realiza cálculos con las magnitudes que intervienen en las desintegraciones radiactivas.
14. Valorar las aplicaciones de la energía nuclear en la producción de energía eléctrica, radioterapia, datación en arqueología y la fabricación de armas nucleares.	14.1. Explica los procesos de una reacción en cadena, y conclusiones de la energía liberada. 14.2. Conoce aplicaciones de la energía nuclear como la datación en arqueología y la utilización de isótopos en medicina.
15. Justificar las ventajas, desventajas y limitaciones de la fisión y la fusión nuclear.	15.1. Analiza las ventajas e inconvenientes de la fisión y la fusión nuclear justificando la conveniencia de su uso.

12. Física nuclear: índice

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE
16. Distinguir las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza y los principales procesos en los que intervienen.	16.1. Compara las principales características de las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza.
17. Reconocer la necesidad de encontrar un formalismo único que permita describir todos los procesos de la naturaleza.	17.1. Establece una comparación cuantitativa entre las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza en función de las energías.
18. Conocer las teorías más relevantes sobre la unificación de las interacciones fundamentales de la naturaleza.	18.1. Compara las principales teorías de unificación estableciendo sus limitaciones y el estado en que se encuentran actualmente.
19. Utilizar el vocabulario básico de la física de partículas y conocer las partículas elementales que constituyen la materia.	19.1. Describe la estructura atómica y nuclear a partir de su composición en quarks y electrones,
19. Utilizar el vocabulario básico de la física de partículas y conocer las partículas elementales que constituyen la materia.	19.2. Caracteriza algunas partículas fundamentales de especial interés, como los neutrinos y el bosón de Higgs.
20. Describir la composición del universo a lo largo de su historia en términos de las partículas que lo constituyen y establecer una cronología del mismo a partir del Big Bang.	20.1. Relaciona las propiedades de la materia y antimateria con la teoría del Big Bang. 20.2. Presenta una cronología del universo en función de la temperatura y de las partículas .
21. Analizar los interrogantes a los que se enfrentan los físicos hoy en día.	21.1. Realiza y defiende un estudio sobre las fronteras de la física del siglo XXI.

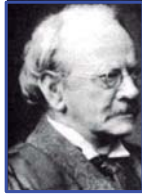
1.1 El camino hacia el núcleo atómico



El físico alemán **Wilhelm Konrad Roentgen** (1845-1923) descubre los Rayos X. Con el tiempo se sabrá que éste no es un fenómeno nuclear, sino que se debe a saltos de electrones de un nivel a otro.



En septiembre, en la ciudad de París, **Marie Curie** (1867-1934), siguiendo los consejos de su esposo y tutor, Pierre Curie, decidió investigar, para su tesis doctoral, los "rayos de Becquerel"



Joseph John Thomson (1856-1940) descubre el electrón.



Ernest Rutherford (1871-1937) reporta la existencia de las radiaciones alfa y beta. Años más tarde se conocerá que están formadas por núcleos de helio (He^{2+}) y electrones (e^-) respectivamente.

1895

1896

1897

1898

1899

1900

Becquerel (1852-1908), científico francés, cuando intentó determinar si las sales luminiscentes de uranio emiten Rayos X, descubrió, por azar, la radiactividad.



El 18 de julio, **Marie y Pierre Curie** descubren dos nuevos elementos radiactivos, los bautizan con el nombre de **polonio**, en honor a Polonia y al otro lo llaman **radio**.

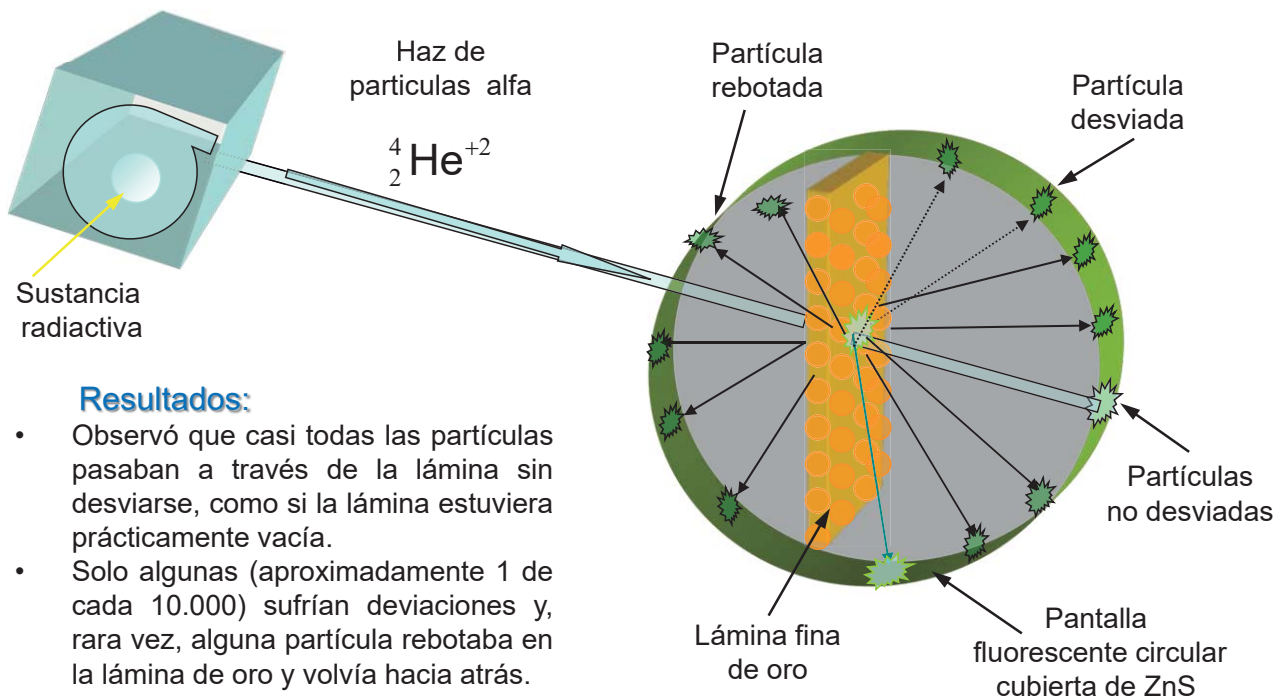


Paul Villard (1860-1934) demuestra la existencia de las radiaciones gamma constituidas por fotones de alta energía.



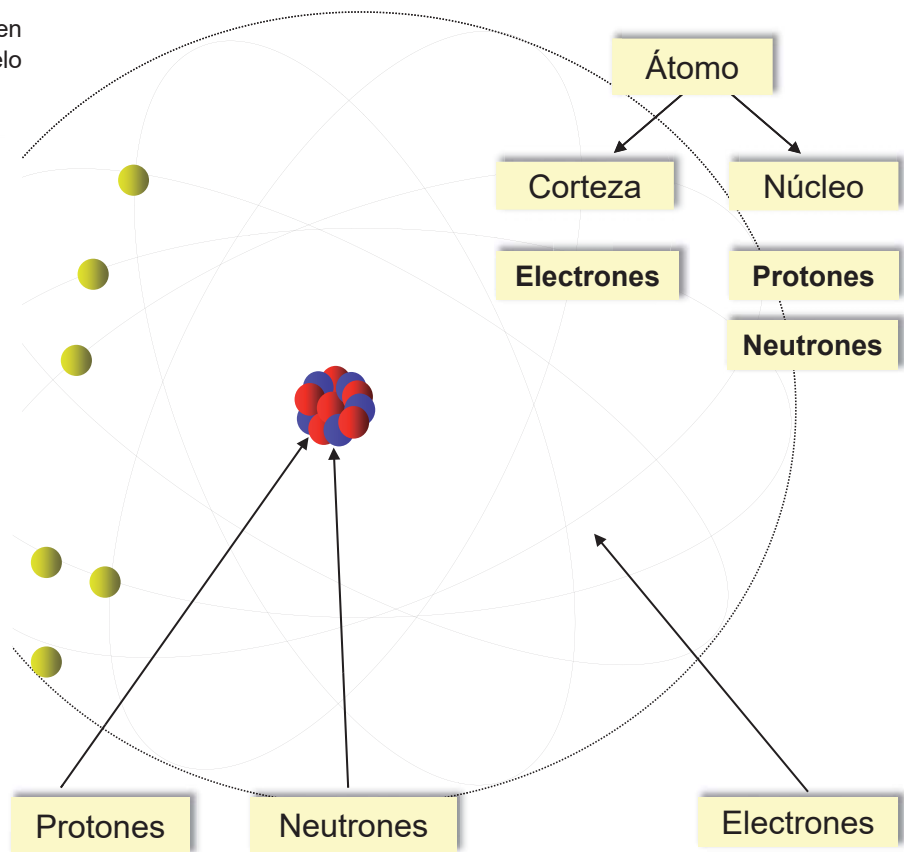
2.1 El descubrimiento del núcleo atómico

- **Rutherford** bombardeó los átomos de una lámina muy fina de oro con partículas alfa (α), procedentes de una sustancia radiactiva.
- Las partículas alfa tienen una masa cuatro veces mayor que la masa del átomo de hidrógeno y una carga eléctrica positiva doble de la carga de un electrón.



2.2 El descubrimiento del núcleo atómico

- **Rutherford** sugirió, en 1911, el siguiente modelo atómico:
- **El átomo está formado por:**
- Un **núcleo**, muy pequeño con casi toda la masa del átomo y cargado positivamente.
- Está constituido por **protones y neutrones** (estos últimos descubiertos más tarde).
- Una **corteza**, donde los **electrones** giran alrededor del núcleo. Ocupa la mayor parte del volumen atómico, tiene masa muy pequeña y en ella se encuentra toda la carga eléctrica negativa. Se puede decir que el átomo está prácticamente vacío.



2.3 Constitución básica del núcleo atómico

- El **descubrimiento de la radiactividad por Henri Bequerel en 1898** es el inicio de lo que hoy se conoce como **física nuclear**. Este físico descubrió que un mineral de uranio emitía un tipo de radiación invisible y penetrante, capaz de velar las placas de fotografía, ionizar gases y atravesar cuerpos opacos.
- El **átomo** está compuesto por un **núcleo** en el que se hallan partículas (con masa), positivas y neutras y alrededor del cuál, en la **corteza**, giran partículas (prácticamente sin masa) con carga negativa.

Átomo	Partícula	Símbolo	Masa (u)	Masa (kg)	Carga (C)
Núcleo (nucleones)	Protón	$\begin{matrix} \text{masa } 1 \\ \text{carga } +1 \end{matrix} p$	1,0073	$1,673 \cdot 10^{-27}$	$+1,6 \cdot 10^{-19}$
	Neutrón	$\begin{matrix} 1 \\ 0 \end{matrix} n$	1,0087	$1,675 \cdot 10^{-27}$	0
Corteza	Electrón	$\begin{matrix} 0 \\ -1 \end{matrix} e$	0	$1/1840 \cdot m_p$	$-1,6 \cdot 10^{-19}$

2.4 Constitución básica del núcleo atómico

- Existen dos números que caracterizan los **núcleos de los átomos**:
- **Número Atómico (Z)**: número de protones que tiene el núcleo del átomo.
- **Número Másico (A)**: suma de protones y neutrones, **A = Z + N**.
- Se llaman **núclidos** a cada una de las especies nucleares, es decir, núcleos que tienen el mismo número atómico Z y número másico A.
- Se llaman **isotopos** a los núclidos que tienen el mismo número atómico Z, y distinto número másico A.
- Llamamos **nucleones: protones (Z) y neutrones (N)**.
- Para medir la masa de los átomos se usa la **unidad de masa atómica (u)** que se define como la doceava parte de la masa del átomo de carbono -12.
- En 1 mol de C-12 que son 12 g, hay el número de Avogadro de átomos: $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos de C-12:

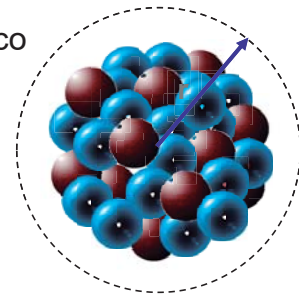
$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{12,000 \cdot 10^{-3} \text{ kg / mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ at / mol}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

3.1 Tamaño y densidad de los núcleos

Partícula α



Núcleo atómico



- La energía cinética de la partícula α se habrá transformado en energía potencial electrostática:

$$\frac{1}{2} m_{\alpha} \cdot v_{\alpha}^2 = k \frac{2e \cdot Ze}{r} \Rightarrow r = \frac{4k \cdot Z \cdot e^2}{m_{\alpha} \cdot v_{\alpha}^2}$$

- **El tamaño del átomo se estima en unos 10^{-10} m**

3.2 Tamaño y densidad de los núcleos

- Los **núcleos atómicos son básicamente esféricos**, si bien sus bordes son difusos.
- El tamaño de los núcleos pequeños es del orden de los 10^{-15} m.
- La unidad en la que suele expresarse el tamaño del núcleo es el **fermí, en honor a Enrico Fermi** (1901-1954).

$$1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

- Se ha podido establecer una fórmula empírica que relaciona el radio nuclear con el número másico, A:

$$r = 1,2 \cdot A^{1/3} \text{ fm}$$

- **Densidad de los núcleos**

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \cdot A \text{ (kg)}}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{1,66 \cdot 10^{-27} \cdot A \text{ (kg)}}{\frac{4}{3} \pi (1,2 \cdot A^{1/3})^3} = 2,4 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- **¿Qué fuerzas son las responsables de compactar la materia hasta estas densidades?**

4.1 Estabilidad de los núcleos. Energía de enlace

- En el núcleo de los átomos, los nucleones se agrupan en una distancia muy pequeña, del orden de 10^{-15} m (1 fermí).
- **Interacción Nuclear Fuerte** es la fuerza que los mantiene unidos, es independiente de su carga, es muy intensa, de corto alcance y atractiva.
- Mediante técnicas de espectrometría se ha podido comprobar que **la masa de los núcleos es menor que la suma de la masa de sus nucleones**.

- **Defecto de masa:** $\Delta m = Z \cdot m_{\text{protón}} + (A - Z) m_{\text{neutrón}} - M_{\text{núcleo}}$

- **Energía de Enlace (ΔE):** es la que se libera al formarse el núcleo a partir de sus nucleones constituyentes. Se calcula mediante la ecuación de Albert Einstein:

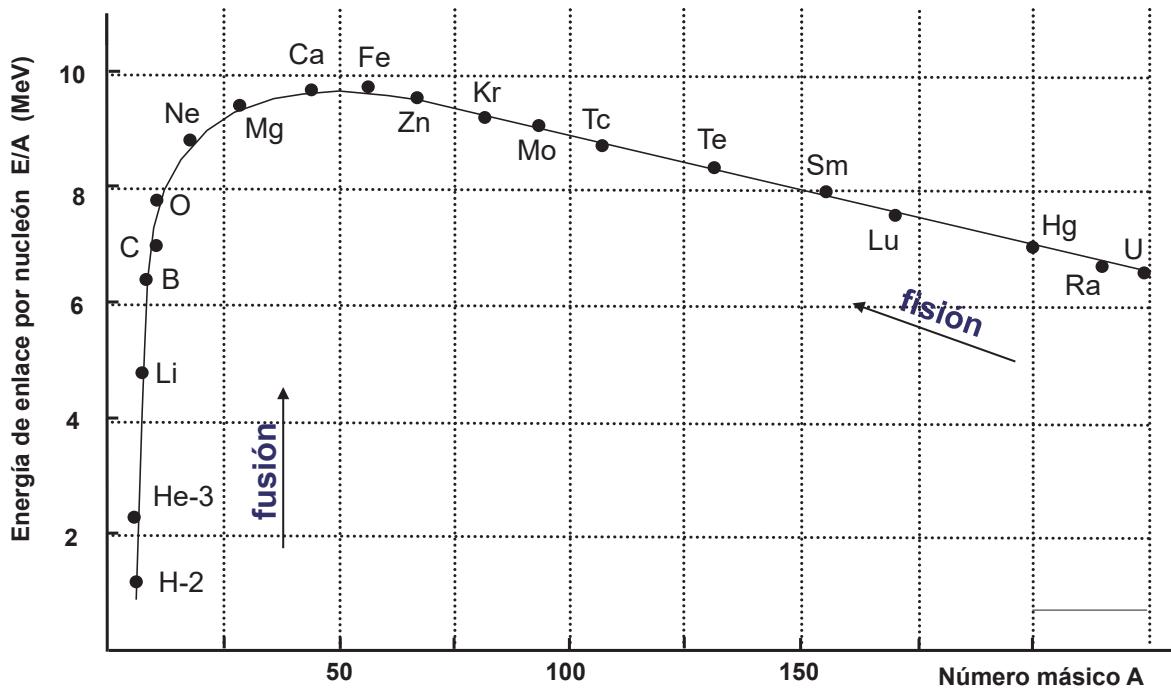
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2$$

- **Energía de Enlace por Nucleón ($\Delta E/A$).** Cuanto mayor sea esta energía, más estable será el núcleo:

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{E_{\text{enlace}}}{\text{nucleón}}$$

4.2 Estabilidad de los núcleos. Energía de enlace

- Si un núcleo pesado se divide en dos núcleos más ligeros, **fisión nuclear**, o si dos núcleos ligeros se unen para formar otro más pesado, **fusión nuclear**, se obtienen **núcleos más estables**, con mayor energía de enlace por nucleón, y se libera energía. Los procesos de fisión y fusión nuclear hacen que los núcleos se desplacen hacia el máximo de la curva de la figura.



4.3 Equivalente. Unidad de masa atómica - energía

- Equivalencia entre unidad de masa atómica (u) y MeV .**
- En 1 mol de C-12 que son 12 g, hay el número de Avogadro de átomos: $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos de C-12 .

$$1u = \frac{1}{12} \cdot \frac{12,000 \cdot 10^{-3} \text{ kg} / \text{mol}}{6,022 \cdot 10^{23} \text{ at} / \text{mol}} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

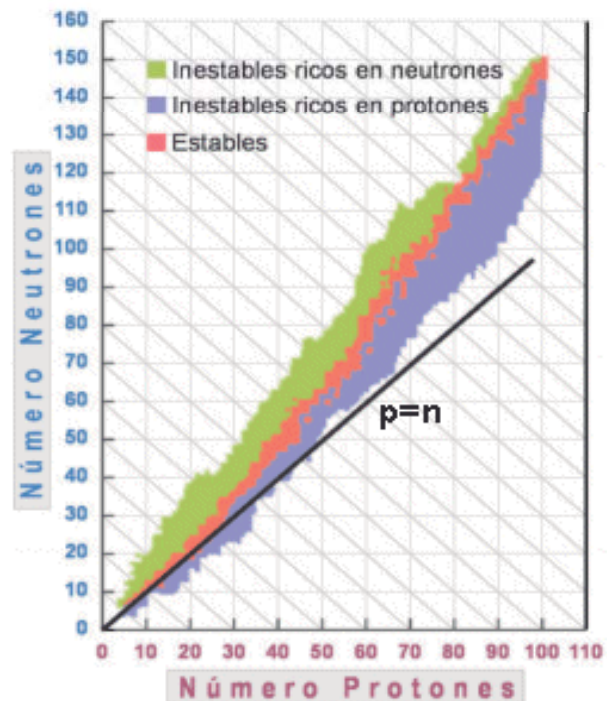
$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m} / \text{s})^2 = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$\Delta E = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 931 \text{ MeV}$$

- 1 u que se transforma en energía equivale a 931 MeV**

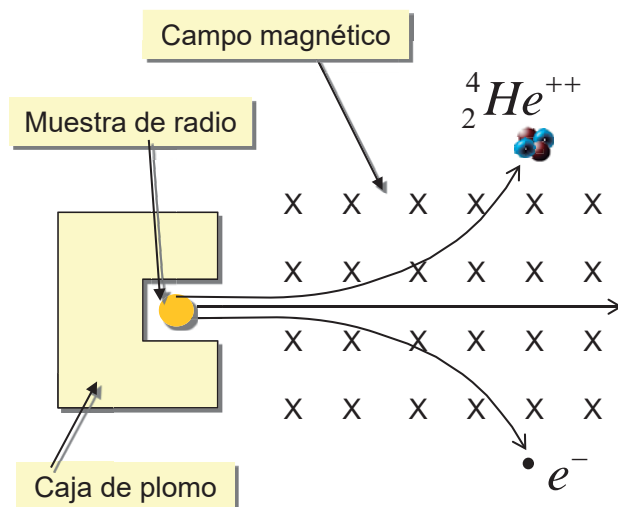
5.1 Núcleos inestables. La radiactividad natural

- Si en el núcleo solo hubiera protones la repulsión coulombiana acabaría por desintegrarlo.
- El papel de los neutrones en los núcleos es dar estabilidad al mismo.
- En los núcleos pequeños, el número de protones y neutrones es el mismo.
- A medida que aumenta el número de protones crece el número de neutrones.
- Los neutrones son partículas inestables que emiten **electrones beta** y se convierten en protones.
- Los núcleos son inestables a partir del elemento número 83 (bismuto) que se estabilizan emitiendo **partículas alfa** o desintegrando neutrones al emitir electrones beta.



5.2 Núcleos inestables. La radiactividad natural

- **Tras el descubrimiento de la radiactividad por Bequerel**, dos años más tarde, los esposos Curie descubren el Polonio y el Radio que son también elementos radiactivos. **Estas radiaciones proceden del núcleo de los átomos y son de tres tipos:**
- **Radiaciones alfa (α), beta (β) y gamma (γ)** que se pueden separar, debido a su carga, por la acción de un campo eléctrico o magnético:



- **Radiaciones alfa (α)**

Son núcleos de helio
Ionizan fuertemente el aire
Poseen velocidad pequeña: 16.000 km/s
Tienen bajo poder de penetración

- **Radiaciones gamma (γ)**

Ondas electromagnéticas de frecuencia muy alta
Menor poder de ionización del aire
Velocidad de la luz
Muy penetrante

- **Radiaciones beta (β)**

Son electrones procedentes del núcleo atómico
Poco poder de ionización del aire
Velocidad próxima a la de la luz: 260.000 km/s
Elevado poder de penetración

5.3 Leyes de los desplazamientos radiactivos

- Los cambios que experimentan los núcleos que sufren desintegraciones radiactivas vienen dados por las **leyes de los desplazamientos radiactivos de Fajans y Soddy**:

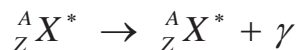
- Cuando un **núcleo radiactivo emite una partícula alfa**, se obtiene un elemento cuyo número atómico es menor en dos unidades y su número másico es menor en cuatro unidades:



- Cuando un **núcleo radiactivo emite un electrón beta**, el elemento resultante se desplaza un lugar a la derecha en el sistema periódico, esto es, se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y cuyo número másico es igual:



- Cuando un **núcleo radiactivo excitado emite una radiación gamma**, se desexcita energéticamente, pero no sufre transmutación alguna.

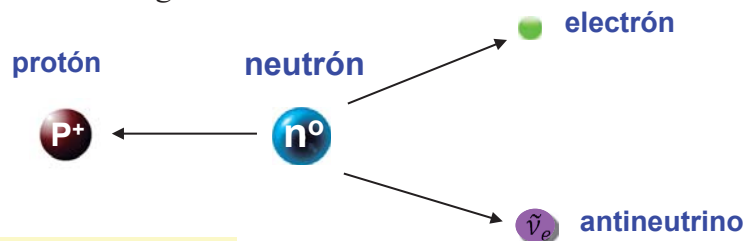
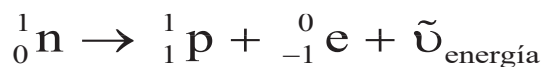


- En la desintegración radiactiva se cumplen los principios de :
- Conservación del número de nucleones y conservación de la carga eléctrica.

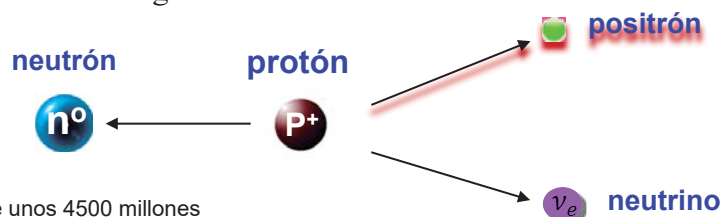
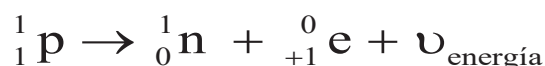
5.4 Mecanismos de desintegración beta

- Como resultado de las **fuerzas de interacción débil** entre partículas subatómicas, un neutrón se desintegra en un protón, electrón y neutrino.
- También se pueden desintegrar los protones.

Mecanismo de desintegración beta



Mecanismo de desintegración beta positiva



- Un protón aislado tendría una vida media de unos 4500 millones de años, mientras que un neutrón de unos 8 minutos.

5.5 Ley de la desintegración radiactiva

- En 1904 Rutherford y Soddy descubren que la **actividad de una sustancia radiactiva, disminuye exponencialmente con el tiempo**. Los procesos radiactivos son aleatorios, se estudian mediante el cálculo de probabilidades.
- Actividad o velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva:** número de partículas emitidas por unidad de tiempo, o lo que es lo mismo, número de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo.
- Es proporcional a una constante característica de cada sustancia (**constante de desintegración radiactiva λ**) y al número de núcleos existentes en ese momento:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N \Rightarrow A = N_0 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

- El número de núcleos que se desintegran en un dt será:

$$-dN = \lambda \cdot N \cdot dt$$

- El número de núcleos sin desintegrar en un instante determinado:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt \rightarrow \int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt \rightarrow \ln N - \ln N_0 = \ln \frac{N}{N_0} = -\lambda \cdot t \quad \boxed{N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}}$$

- Ley de desintegración radiactiva:** calcula el nº de átomos N que quedan sin desintegrar en función del tiempo t y del número de átomos iniciales N_0 . El signo menos indica que el número de átomos disminuye con el tiempo.

5.6 Ley de la desintegración radiactiva en función de la actividad

- Actividad o Velocidad de desintegración (A)** de una sustancia radiactiva es el número de desintegraciones que se producen por unidad de tiempo:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N \Rightarrow A = N_0 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow \boxed{A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}}$$

- Ley de la desintegración radiactiva:** la actividad de una sustancia radiactiva disminuye exponencialmente con el tiempo.
- Período de Semidesintegración (T):** es el tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los núcleos iniciales, es decir, tiempo para que el número de átomos iniciales se reduzca a la mitad:

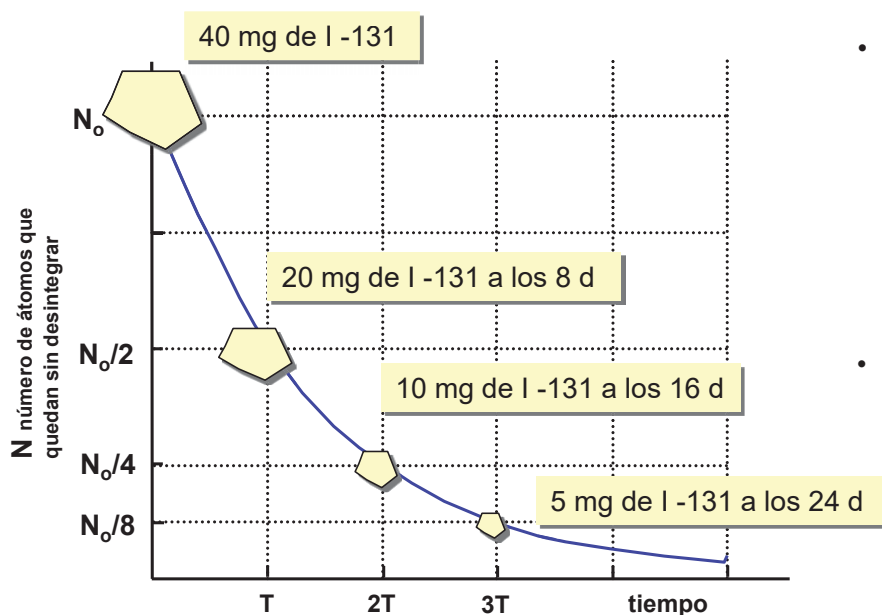
$$N(T) = \frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T$$

$$\boxed{T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}}$$

- Los períodos de semidesintegración son muy diversos, desde billonésimas de segundo hasta miles de millones de años.

Núclido	$T_{1/2}$
C-14	5370 años
Po-214	164 μ s
Rn-222	3,82 días
Ra-225	14,8 días
Th-234	24,5 días
Np-237	$2,35 \cdot 10^6$ años
U-238	$4,468 \cdot 10^9$ años

5.7 Ley de la desintegración radiactiva. gráfica



- Disminución exponencial del número de núcleos que quedan sin desintegrar en función del tiempo:

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

- Disminución exponencial de la actividad en función del tiempo

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

- Período de semidesintegración T**, tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los núcleos iniciales:

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

- Vida Media τ** , representa el promedio de vida que tenga un núcleo:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0,693}$$

5.8 Actividad radiactiva. Unidades

- Unidades de actividad radiactiva:**

- Becquerel (Bq)** unidad del SI para medir la actividad de una sustancia radiactiva: es la actividad de una muestra que efectúa una desintegración por segundo.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ desintegración} \cdot \text{s}^{-1}$$

- 1 Curie (Ci) es la actividad de 1 g de radio:**

$$1 \text{ Curie} = A_{1g \text{ Ra}} = \lambda_{\text{Ra}} N = \frac{\ln 2}{1602 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{226 \text{ g/mol}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \frac{\text{at}}{\text{mol}} = 3,67 \cdot 10^{10} \text{ des/s}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,67 \cdot 10^{10} \text{ desintegraciones} \cdot \text{s}^{-1} \text{ (Bq)}$$

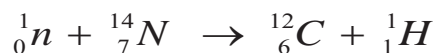
- Siendo: masa atómica del radio 226u y su período de semidesintegración, $T_{\text{Ra}} = 1602\text{a}$.

- Rutherford:** $1 \text{ Ru} = 10^6 \text{ desintegraciones} \cdot \text{s}^{-1} = 10^6 \text{ Bq}$

5.9 Datación arqueológica por el método del carbono - 14

• Uso del isótopo del C-14 para la datación de restos arqueológicos

- El C-14 tiene un periodo de semidesintegración de 5730 años.
- Se forma por los rayos cósmicos que producen neutrones en las capas altas de la atmósfera. Los neutrones colisionan con el N-14 y originan el C-14.



- El C-14 se mezcla con el isótopo estable C-12 y en el proceso de intercambio es ingerido por los seres vivos.
- Una vez el ser vivo fallece, finaliza el proceso de intercambio y el C-14 empieza a disminuir por desintegración beta:



5.10 Familia radiactiva del Uranio - 238

$N_{\text{máscico}} \rightarrow$ $N_{\text{atómico}} \downarrow$	238	234	230	226	222	218	214	210	206
U 92	U α	U α							
Pa 91		Pa β							
Th 90		Th β	Th α						
Ac 89									
Ra 88				Ra α					
Fr 87									
Rn 86					Rn α				
At 85									
Po 84						Po α	Po α	Po α	
Bi 83						Bi $\alpha\beta$	Bi β	Bi β	
Pb 82						Pb β	Pb β	Pb β	Pb
Tl 81							Tl β		

- Un elemento radiactivo (padre), se desintegra transformándose en otro elemento también radiactivo (hijo), que a su vez se desintegrará hasta que se obtenga un elemento estable.
- Al conjunto de padre y descendientes se le llama **Serie o Familia Radiactiva**. Se conocen cuatro series o familias radiactivas.

- El conocimiento de los periodos de semidesintegración de los isótopos que componen la serie permite la datación de rocas y minerales: **ley de la geocronología**.

5.11 Núcleos inestables. Radiactividad natural. Ejercicios

• Estabilidad de los núcleos. ejercicios

1. Calcula el defecto de masa y la energía liberada en la formación del núcleo del átomo de carbono-12.

Datos: $m_p = 1,007\,276\text{ u}$; $m_n = 1,008\,665\text{ u}$

2. Considera los núcleos de Li-6 y Li-7 de masas 6,015 2 u y 7,016 0 u, respectivamente, siendo 3 el número atómico de estos dos isótopos. Calcula para ambos núcleos:

- El defecto de masa.
- La energía de enlace.
- La energía de enlace por nucleón.

Datos: $1\text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$; $m_p = 1,007\,276\text{ u}$; $m_n = 1,008\,665\text{ u}$

3. El radio-226 se desintegra emitiendo una partícula alfa. Si la masa del Ra-226 es de 226,025 406 u; la del Rn-222 es 222,017 574 u, y la de la partícula alfa, 4,002 603 u, determina:

- La energía cinética que se transfiere en el proceso de desintegración.
- La velocidad con qué es emitida la partícula alfa.

4. Se observa que la actividad radiactiva de una muestra de madera prehistórica es diez veces menor que la de una muestra de igual masa de madera moderna. Sabiendo que período de semidesintegración del C-14 es de 5 730 años, calcula la antigüedad de la muestra.

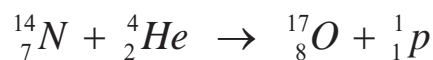
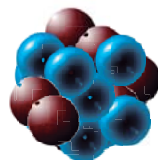
5. Un haz de deuterones (H-2) procedentes de un ciclotrón bombardea un blanco de C-13, con lo que se emiten protones.

- Escribe la reacción que tiene lugar.
- ¿Cuánto vale la energía liberada en el proceso debido al defecto de masa?

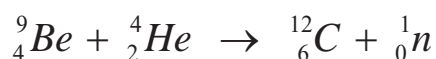
Datos: $M(\text{C-13}) = 13,003\,355\text{ u}$; $M(\text{C-14}) = 14,003\,242\text{ u}$; $M(\text{H-2}) = 2,014\,102\text{ u}$; $M(\text{H-1}) = 1,007\,825\text{ u}$

6.1 Reacciones nucleares

- Reacciones nucleares** son aquellas en las que intervienen los núcleos de los átomos. Se pueden producir bombardeando un núcleo con otro de menor tamaño o con partículas subatómicas.
- Primera reacción nuclear** fue producida por Rutherford en 1909, al bombardear nitrógeno-14 con partículas alfa (se descubre el **protón**):



- En 1931, **Frédéric Joliot** (1900-1958) e **Irène Curie** (1897-1956) descubrieron que al bombardear núcleos de berilio con partículas alfa, se producía una radiación muy penetrante que inicialmente supusieron que era radiación gamma.
- Análisis posteriores de **James Chadwick** (1891-1974) permitió identificarla como un **neutrón**:

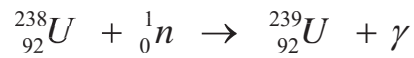


- En las reacciones nucleares se conservan el número másico y el número atómico.**

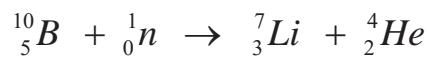
6.2 Algunas reacciones nucleares

- **Reacciones nucleares con neutrones:**

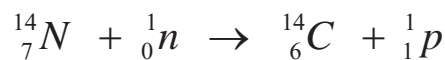
- El núcleo se transforma en un isótopo de número másico A+1 y emite radiación gamma:



- El núcleo emite una partícula alfa:



- El núcleo emite un protón:

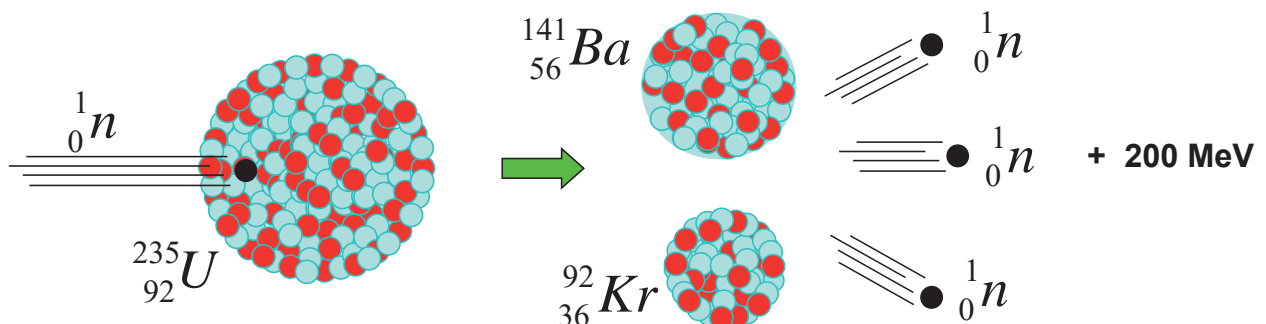
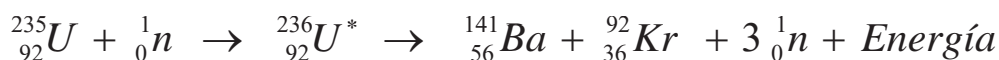


- La reacción anterior se puede escribir: ${}_{7}^{14}\text{N} (n, p) {}_{6}^{14}\text{C}$

- **Los neutrones pueden penetrar fácilmente en los núcleos al no tener carga eléctrica; pero esa ventaja supone el inconveniente de no poderlos acelerar.**

6.3 Reacciones nucleares. Fisión nuclear

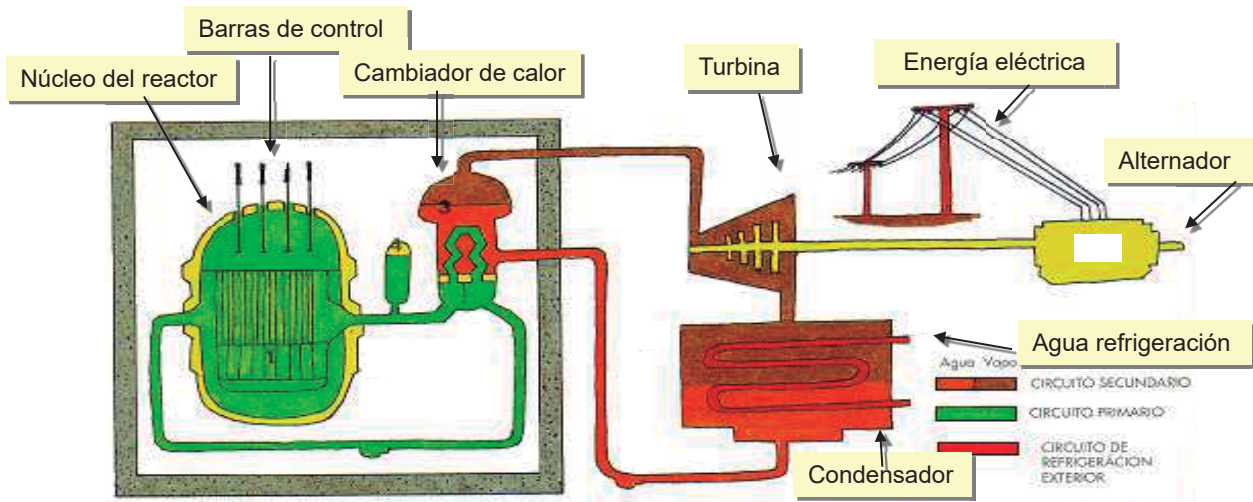
- **Un núcleo pesado se puede dividir en dos núcleos más ligeros**, que son más estables, tienen mayores energías de enlace y en el proceso se libera energía.
- **Fisión nuclear** se consiguió por primera vez en 1938 (**Otto Hahn** y **Frederic Strassman**), al observar que el uranio-235 al absorber un neutrón se divide en dos fragmentos, liberándose una gran cantidad de energía y nuevos neutrones:



- La energía liberada se debe a la diferencia de masa entre los productos iniciales y finales. En este caso unos 200 MeV por átomo.
- Los neutrones desprendidos bombardean otros núcleos de uranio originándose una reacción en cadena. La reacción es multiplicativa, aunque para ello es necesaria una masa mínima de uranio de 14 kg (bomba atómica), o bien se puede controlar.

6.4 Fisión nuclear: reactor nuclear

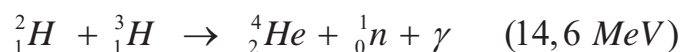
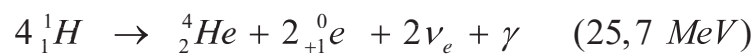
- Las reacciones controladas se llevan a cabo en los **reactores nucleares**.
- Para controlar la reacción hay que **absorber los neutrones en exceso**, para lo que se usan barras de control de boro y cadmio.
- **La reacción se inicia con neutrones “lentos”**, y los producidos **en la fisión son neutrones “rápidos”, que tienen que ser frenados** con agua pesada, berilio o grafito.



- Una **central nuclear**, como una central térmica, utiliza la energía calorífica del reactor para producir vapor de agua a presión.
- En los reactores nucleares se usa uranio natural (0,7% de U-235 y 99,3% de U-238) o uranio enriquecido que contiene del 3 al 5% de uranio-235.

6.5 Reacciones nucleares. Fusión nuclear

- **Fusión nuclear:** proceso por el que átomos ligeros se unen para formar átomos más pesados, con desprendimiento de energía. **Se obtiene un núcleo más estable, con mayor energía de enlace, y se libera energía. Son reacciones de fusión:**



- Las reacciones de fusión son muy difíciles de conseguir con la tecnología actual.
- **Para conseguir la fusión de núcleos hay** que vencer las fuerzas de repulsión electrostáticas entre ellos, para lo cual hay que comunicarles grandes cantidades de energía, lo que supone temperaturas muy elevadas (10^8 K) y que se alcance una densidad del orden de 10^{20} partículas/ m^3 , durante un tiempo de unos segundos.
- **Las reacciones de fusión sólo se consiguen: en el interior de las estrellas y mediante la explosión de una bomba de hidrógeno.**

6.6 Riesgos y aplicaciones de la radiactividad

• Riesgos de la radiactividad

- Los **riesgos de la radiación** son debidos a la energía que transporta y a la posible asimilación por los seres vivos de las sustancias radiactivas.
- Al **producir la ionización de moléculas en los organismos**, puede provocar la destrucción de tejidos y del código genético, ocasionando tumores cancerígenos, malformaciones, etc.
- Los **residuos producidos por las centrales nucleares son radiactivos** y pueden originar la contaminación del aire, el agua o las personas que los manipulan. Se suelen encerrar y almacenar en hormigón, para su posterior depósito en los **llamados "cementeros nucleares"**. El problema de estos residuos no tiene todavía solución definitiva debido a la larga duración (hasta milenios) de su actividad radiactiva.

• Aplicaciones de la radiactividad

- El **comportamiento químico de los isótopos radiactivos** es idéntico al de los isótopos normales del mismo elemento, pero se detestan localizando la radiación que emiten. A esta propiedad se deben sus aplicaciones:
 - **Localización de tumores** y tratamiento del cáncer destruyendo las células malignas.
 - **Obtención de semillas con mejores cualidades** y conservación de alimentos.
 - **Aprovechamiento de la energía de la radiación**: marcapasos, generadores eléctricos.
 - **Producción de esterilidad en especies nocivas** y plagas agrícolas.
 - **Medida de espesores de materiales** y niveles de líquidos, densidades, etc.
 - **Fecha radiactivo**, para determinar fechas de hechos históricos y geológicos.

7.1 Interacciones fundamentales de la naturaleza

FUERZA NUCLEAR FUERTE

Partícula de intercambio: gluón.

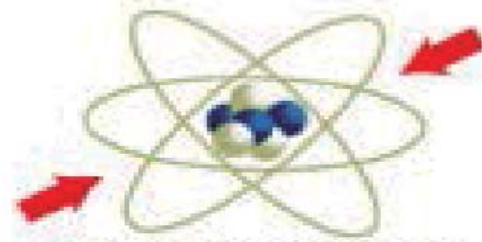
Acción: mantiene unido el núcleo atómico



FUERZA ELECTROMAGNÉTICA

Partícula de intercambio: fotón.

Acción: mantiene el átomo unido



FUERZA NUCLEAR DÉBIL

Partícula de intercambio: partículas W^* y Z^* .

Acción: provoca desintegraciones radiactivas



Fuente: CERN, Ginebra

FUERZA GRAVITATORIA
Partícula de intercambio: gravitón.
Acción: rige el movimiento de los planetas



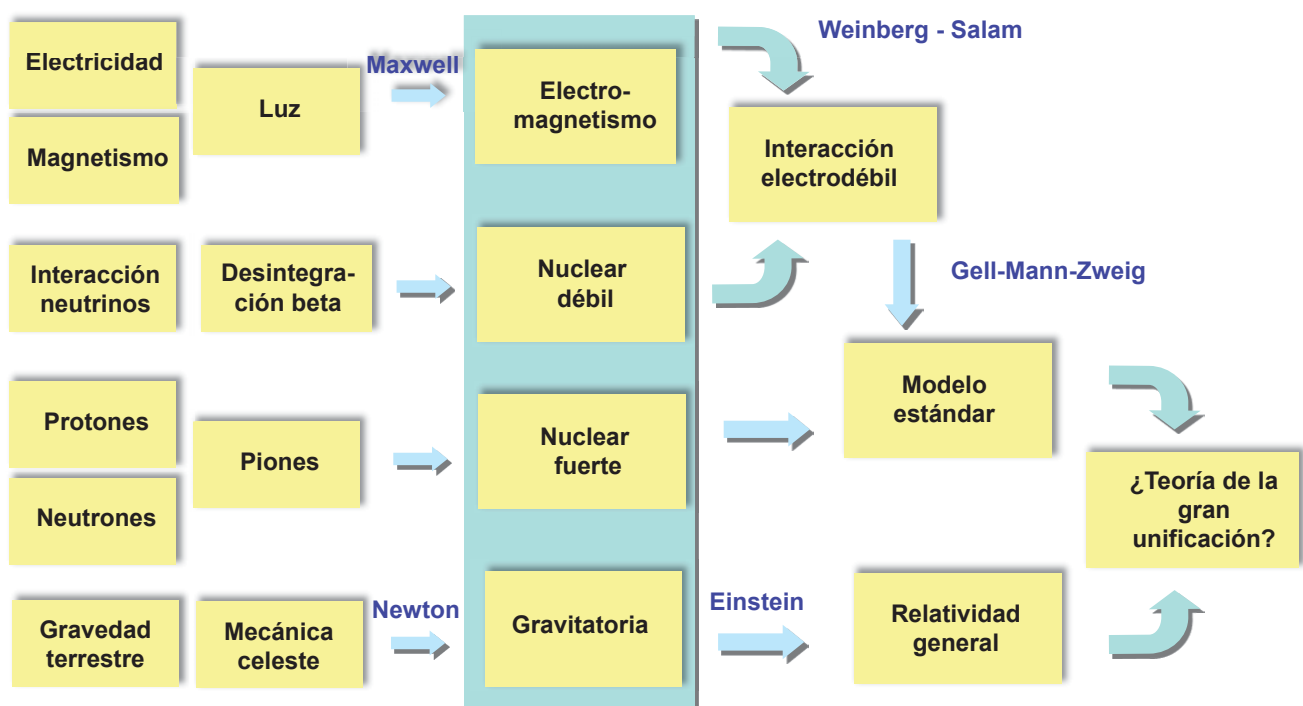
7.2 Interacciones fundamentales de la naturaleza

- Cualquier fuerza mide la interacción entre, al menos, dos partículas.
- La teoría cuántica actual supone que, cuando dos partículas interactúan, intercambian una tercera partícula denominada **partícula mediadora** o de campo.
- Existen cuatro tipos de interacciones fundamentales:

Interacción	Alcance	Intensidad	Partícula intercambiada	Partículas que interactúan
GRAVITATORIA	Infinito	La más débil 10^{-39} N.F.	GRAVITÓN No detectada	Todas. Estructura del Universo. Gravedad terrestre.
NUCLEAR DÉBIL	Muy corto: 10^{-17} m	10^{-13} N.F.	BOSÓN W y Z	Todas. Desintegración beta de los núcleos radiactivos. Interacciones neutrinos
ELECTROMAGNÉTICA	Infinito	10^{-3} N.F.	FOTÓN	Partículas cargadas. Origenan los átomos, moléculas y la materia.
NUCLEAR FUERTE	Muy corto: 10^{-15} m	La más intensa 1 N.F.	GLUÓN	Hadrones. Une las partículas que componen el núcleo del átomo.

7.3 Unificación de las interacciones fundamentales de la naturaleza

- El objetivo de la física es **unificar estas cuatro fuerzas o interacciones**, de modo que todas sean manifestaciones de una sola interacción: **teoría de la gran unificación**.
- Las fuerzas de interacción dependen de la energía a la que se midan.
- A energías de $10^{16} - 10^{18}$ GeV todas tiene la misma intensidad, pero no es posible actualmente alcanzar esos valores de energía



7.4 Unificación de las interacciones fundamentales de la naturaleza

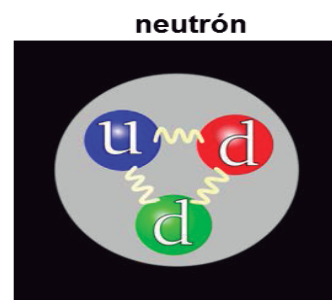
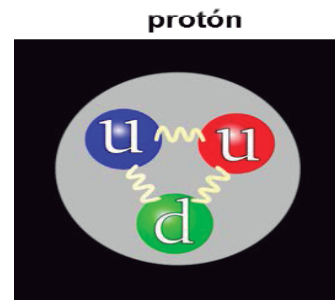
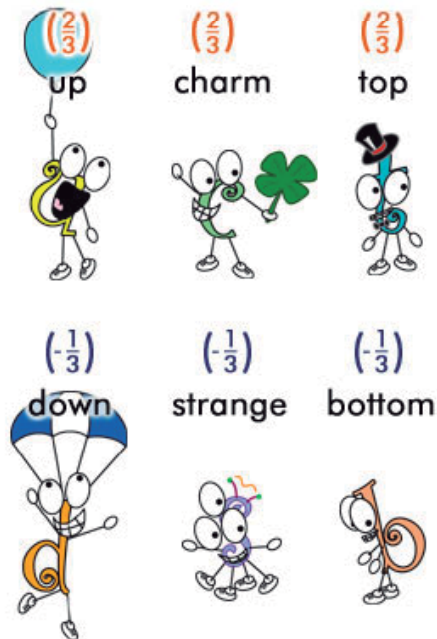
Etapas en la unificación de los conceptos y leyes físicas		
<p>1. La gravitación universal</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enunciada por Newton. - Responsable del movimiento de los astros, gobernados por la fuerza de la gravedad. 	<p>2. El calor y el movimiento molecular</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hasta principios del siglo XIX se pensaba que el calor era un fluido (calórico) que los cuerpos podían intercambiar. - En 1840, Joule calculó el equivalente mecánico y demostró que el calor es un proceso de transferencia de energía. 	<p>3. La teoría electromagnética</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propuesta en el siglo XIX por Oersted y Faraday, explica los fenómenos eléctricos y magnéticos como aspectos de la fuerza electromagnética. - Maxwell demostró la naturaleza electromagnética de la luz y escribió las ecuaciones de la unificación.
<p>4. Unificaciones espacio-tiempo y masa energía</p> <ul style="list-style-type: none"> - Propuestas por Einstein en la Teoría de la Relatividad. - Las ideas de espacio y tiempo absolutos se sustituyen por el “continuo espacio-tiempo”. Las masas producen curvatura del espacio-tiempo. - La masa y la energía son equivalentes. 	<p>5. La dualidad onda-partícula</p> <ul style="list-style-type: none"> - En 1900, Planck propuso que las OEM, en determinadas condiciones, se comportan como partículas (efecto fotoeléctrico y Compton) - En 1922 de Broglie propuso el comportamiento ondulatorio de las partículas. 	<p>6. La unificación electromagnetismo-fuerza débil y otras propuestas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - En 1975 se estableció el mismo origen para la fuerza débil y electromagnética. - También se ha propuesto un mismo origen para la fuerte y electrodébil (TGU). - La Teoría del Todo intentaría conectar todas las interacciones.

8.1 La estructura más íntima de la materia

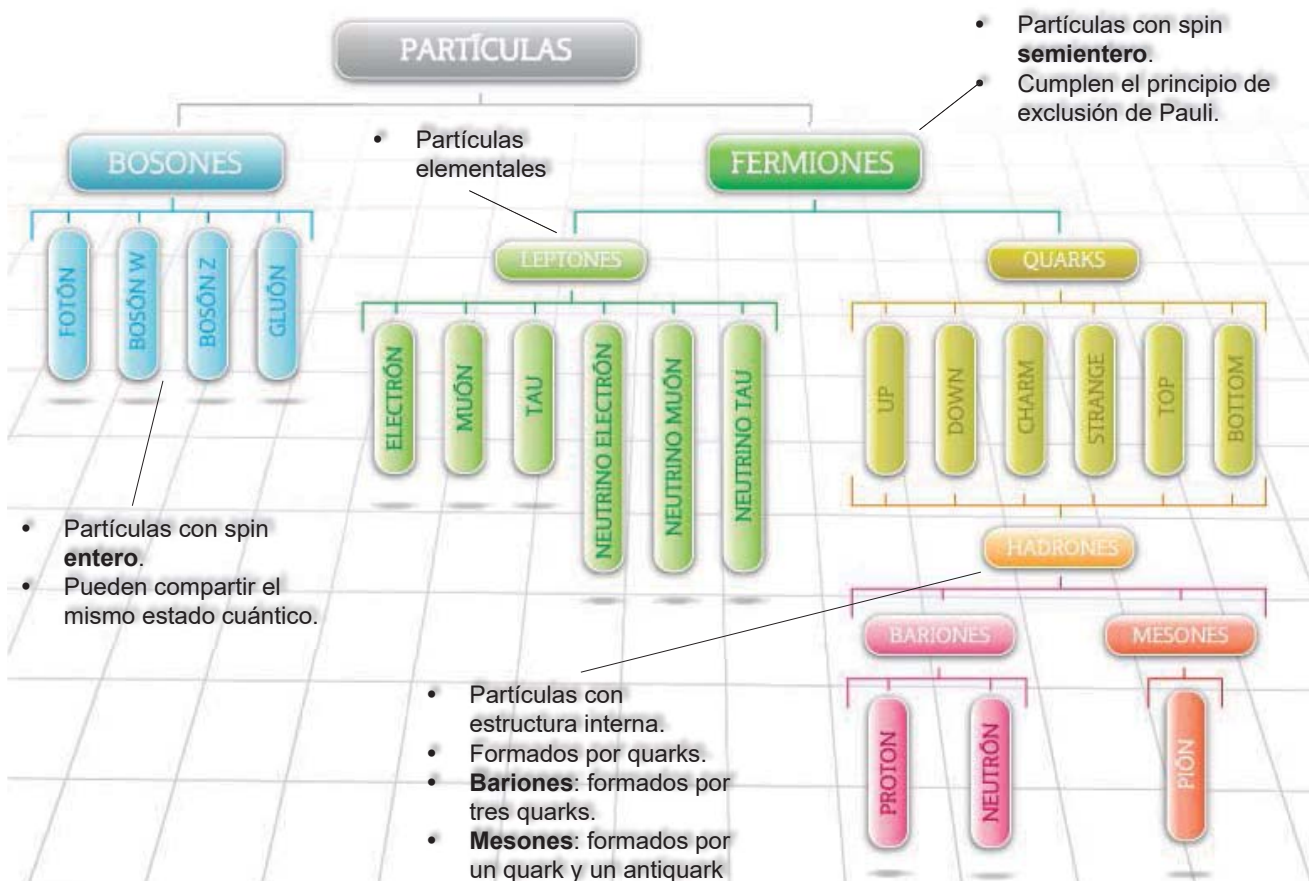
- Una **partícula elemental** es aquella que no tiene estructura interna, es decir, en su interior no hay partículas más simples.
- En la década de 1930 se conocían: el **electrón, el protón y el neutrón** junto con el **fotón** (sin carga ni masa) que introdujo Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico.
- En 1931 Dirac predijo la existencia del **positrón** (electrón con carga positiva), confirmado al año siguiente por Anderson.
- Se generalizó la idea de que toda partícula tiene su correspondiente **antipartícula**. Al conjunto de antipartículas se lo denomina **antimateria**.
- Pauli postula la existencia del **neutrino** (sin carga ni masa) asociado al electrón con el fin de asegurar las leyes de conservación en la desintegración beta (se confirmó en 1956).
- En 1953 Gell-Mann y Zweig postularon la existencia de los **quarks** (partículas elementales que componen los nucleones). Existen en los quarks seis “sabores”. Los dos primeros componen la materia conocida: **up** (u) y **down** (d).
- Los otros cuatro se relacionan con la desintegración de ciertas partículas: **strange** (s), **charm** (c), **bottom** (b) y **top** (t).

8.2 La estructura más íntima de la materia

- En 1953 Gell-Mann y Zweig postularon la existencia de los **quarks** (partículas elementales que componen los nucleones).
- De los seis quarks, únicamente los **u** y los **d** son constituyentes de la materia ordinaria.



8.3 La estructura más íntima de la materia



8.4 La estructura más íntima de la materia

Modelo estándar

Las tres generaciones de la Materia (Fermiones)

	I	II	III	
masa →	3 MeV	1.24 GeV	172.5 GeV	0
carga →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre →	u up	c charm	t top	γ photon
				126 GeV H Bosón de Higgs
Quarks				
	6 MeV $-\frac{1}{3}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ b bottom	0 0 g gluon
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	<0.19 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	<18.2 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	90.2 GeV 0 1 Z⁰ fuerza débil
Leptones				
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e electron	106 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	1.78 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	80.4 GeV ± 1 1 W[±] fuerza débil
				Bosons (Fuerzas)

- El **Bosón de Higgs** representa un papel único en el modelo.
- Explica los orígenes de la masa de las demás partículas.
- Fue la última en ser confirmada (2012) en el CERN.

9.1 Evolución del universo. Teoría del Big-Bang

El evento que se cree que dio inicio al Universo se denomina Big Bang.

- Gamow (1948) plantea que el universo se originó a partir de una **gran explosión** y que, como consecuencia, debería observarse una **radiación de fondo de microondas**, confirmada por Penzias y Wilson.
- Las soluciones generales de las ecuaciones de Einstein, obtenidas por Friedmann y Lemaître, predicen un **universo en expansión**, confirmado por las mediciones de Hubble.



- Después del **Big Bang**, el universo comenzó a expandirse para llegar a su condición actual, y lo continúa haciendo.
- Universo tiene una edad de unos 14 mil millones de años y por lo menos 93 mil millones de años luz de extensión.

9.2 Evolución del universo. Teoría del Big-Bang

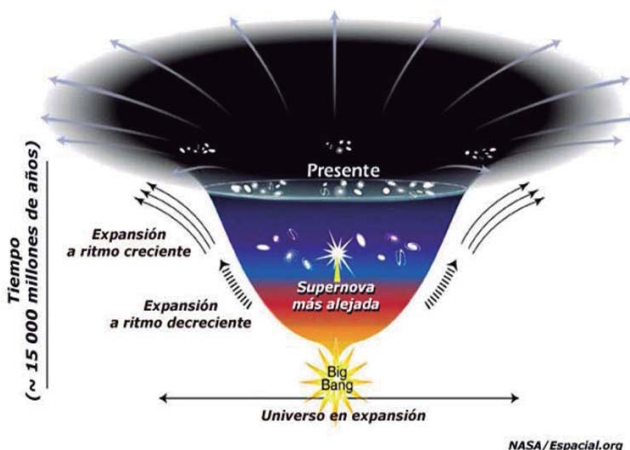
• Después del Big Bang.

- **La temperatura era de alrededor de 10^9 K**, las partículas elementales formadas tenían demasiada energía y no podían unirse para formar estructuras más complejas.
- El universo, al expandirse, se fue enfriando, apareció la **interacción fuerte** y posteriormente la **electromagnética**. Se formaron hidrógeno, helio y pequeñas cantidades de elementos más pesados.
- El continuo enfriamiento permitió que los núcleos más pesados se condensaran formando un polvo que flotaba en el gas de hidrógeno y helio.
- El crecimiento de las partículas de polvo produjo, por acción de la **interacción gravitatoria**, la atracción de una importante masa de hidrógeno y helio que fue comprimiéndose aumentando la temperatura y la presión dando lugar a procesos de fusión nuclear, apareciendo las primeras estrellas.
- La misma fuerza gravitacional fue la causa de la formación de las galaxias.

9.3 El modelo cosmológico actual

• Edwin Hubble: el Universo está en expansión.

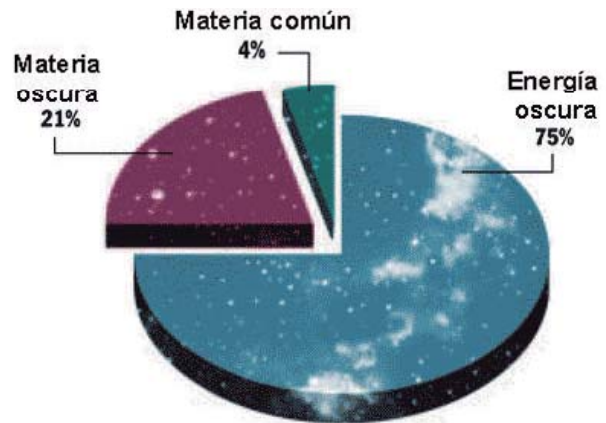
- En 1924 el astrónomo E. Hubble, hizo dos grandes descubrimientos:
- **Algunas nebulosas eran galaxias formadas por estrellas como la Vía Láctea. Estudió la galaxia Andrómeda, muy parecida a la nuestra.**
- **El Universo no es estático, sino que se encuentra en expansión. Casi todas las galaxias se alejan de nosotros, tanto más rápido, cuanto más lejos están.**
- Hubble obtuvo experimentalmente que el **corrimiento hacia el rojo** del espectro de una galaxia es **proporcional a la distancia** a la que esta se encuentra (efecto Doppler).



- El astrónomo De Sitter dedujo de las ecuaciones de Einstein que el Universo no era estático.
- El matemático Friedman dedujo que podía expandirse o contraerse.
- Cuando Einstein se enteró se enfadó porque sus ecuaciones fueron hechas para concebir el universo de manera estática.
- Primero cambió sus ecuaciones, y después Einstein, reconoció haber cometido el mayor error de su vida.

9.4 El Universo: la materia oscura

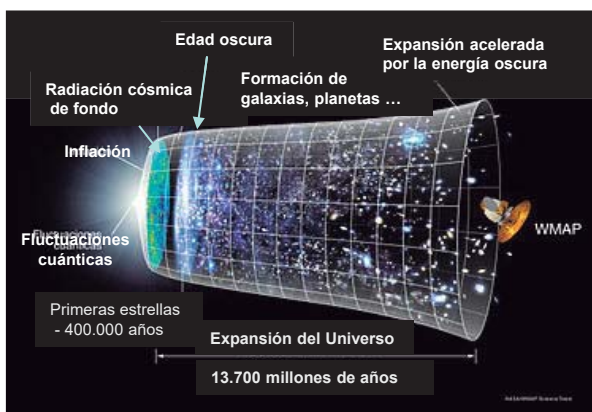
- **La materia oscura:** al observar que las estrellas más lejanas al núcleo de una galaxia se movían de forma más lenta a la que deberían (como si tuvieran más masa), se dedujo que existía un nuevo tipo de materia desconocida que llamamos materia oscura.



- La materia oscura es materia no visible, es decir, no interacciona con la radiación electromagnética. pero cuya existencia se puede deducir a partir de los efectos gravitacionales. Descubierta en 1933 por Zwicky observando el movimiento de las galaxias.
- **La materia oscura constituye el 21% de la masa del universo observable, la energía oscura el 75%; el 4% todo lo demás: estrellas, planetas, nosotros....**

9.4 El Universo: la energía oscura

- **La energía oscura** es una forma de energía que estaría presente en todo el universo, produciendo una presión que tiende a acelerar su expansión, resultando ser una fuerza gravitacional repulsiva.



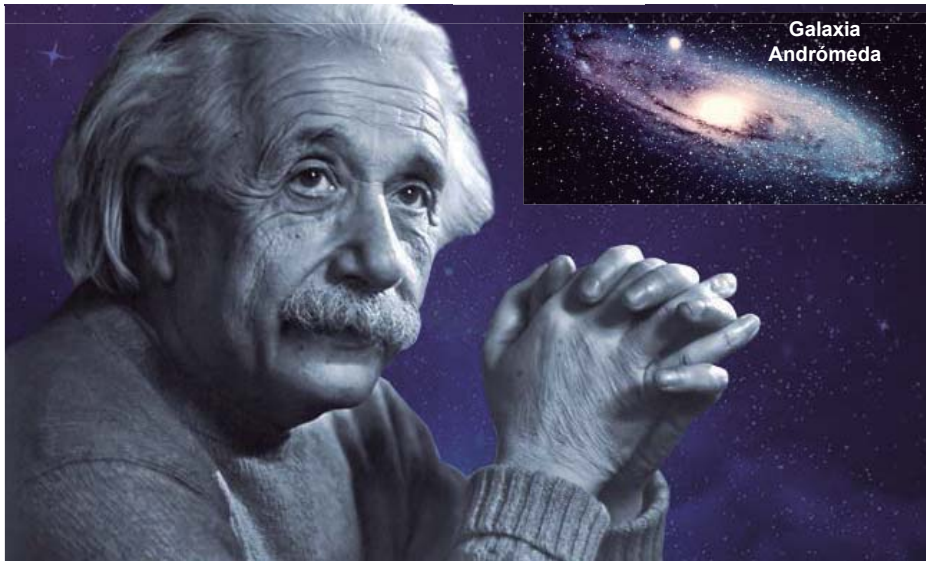
- Considerar la existencia de la energía oscura es la manera más frecuente de explicar las observaciones recientes de que el Universo parece estar en expansión acelerada.

- La mecánica cuántica predice la existencia de una energía aún en el vacío, en ausencia de todo tipo de materia, que algunos piensan que podría ser la responsable de la **energía oscura**.
- La aceleración que produce la antigravedad es mayor que la gravedad, por lo que se podría concluir que la expansión se está acelerando. Esta conclusión quedó probada en 1998 con la medida del desplazamiento hacia el rojo de las supernovas.

9.5 El Universo

¿Qué creemos saber hoy sobre la energía oscura?

- Enorme cantidad de energía misteriosa que existe, pero que no sabemos cómo ni en qué consiste
- Albert Einstein: “el espacio vacío del Universo”, tiene su propia energía.



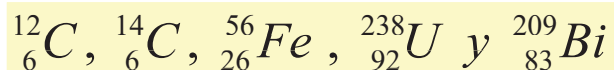
- Teniendo en cuenta la energía oscura, la edad del Universo es de unos 13.700 millones de años.

9.6 El cielo a simple vista: la G de invierno



10 Problemas resueltos de física nuclear

1. Determinar la composición del núcleo de los átomos:



Átomos	Nº Atómico Z	Nº Másico A	Protones	Neutrones
${}^{12}_6\text{C}$	6	12	6	6
${}^{14}_6\text{C}$	6	14	6	8
${}^{56}_{26}\text{Fe}$	26	56	26	30
${}^{238}_{92}\text{U}$	92	238	92	146
${}^{209}_{83}\text{Bi}$	83	209	83	126

10 Problemas resueltos de física nuclear

2. Determina el defecto de masa, la energía de enlace y la energía de enlace por nucleón para el núcleo del átomo de carbono-12.

Datos: $m_p = 1,0073 \text{ u}$; $m_n = 1,0087 \text{ u}$; $m_c = 12,000 \text{ u}$; 1 u equivale a 931 MeV.

- **Defecto de masa** del núcleo de C-12:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - M_n = 6 \cdot 1,0073 \text{ u} + 6 \cdot 1,00867 \text{ u} - 12,000 \text{ u} = 0,096 \text{ u}$$

- **Energía de enlace** es la masa que se pierde; se transforma en energía:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,096 \text{ u} \cdot 931 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = 89,38 \text{ MeV}$$

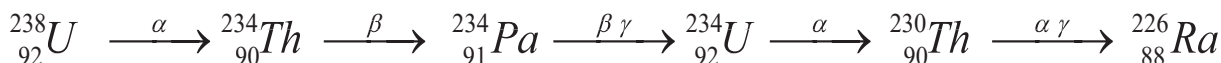
- **Energía de enlace por nucleón** :

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{89,34 \text{ MeV}}{12 \text{ nucleones}} = 7,45 \frac{\text{MeV}}{\text{nucleón}}$$

- Cuanto mayor sea la energía de enlace por nucleón, más estable es el núcleo.
Ver gráfica E/A – A .

10 Problemas resueltos de física nuclear

3. El uranio emite de forma sucesiva las siguientes radiaciones: $\alpha, \beta, \beta\gamma, \alpha, \alpha\gamma$. Determina el número atómico y másico del elemento en el que se transformará.



4. a) Determinar la vida media de un átomo de Uranio-235 si su período de semidesintegración es de $4500 \cdot 10^6$ de años.

b) Si la vida media de un átomo de Torio (Th) es $8 \cdot 10^4$ años. ¿Cuál es el período de semidesintegración?

- **Vida media de** un átomo de Uranio:

$$\tau_U = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{\ln 2} = \frac{4500 \cdot 10^6 \text{ años}}{0,693} = 6493 \cdot 10^6 \text{ años}$$

- **Período de semidesintegración** de un átomo de Torio:

$$T_{Th} = \ln 2 \cdot \tau = 0,693 \cdot 8 \cdot 10^4 \text{ a} = 5,54 \cdot 10^4 \text{ a}$$

10 Problemas resueltos de física nuclear

5. El bismuto tiene un período de semidesintegración de 60,5 minutos. ¿Cuántos átomos se desintegran por segundo en 50 g de bismuto.

- **La constante de desintegración radiactiva:**

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{60,5 \text{ min}} = 0,01145 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{1}{60 \text{ s/min}} = 1,908 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

- **Número de átomos que hay en 50g de Bismuto:**

$$N_{\text{átomos de Bi}} = \frac{50 \text{ g Bi}}{212 \text{ g/mol}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \frac{\text{at. Bi}}{\text{mol}} = 1,44 \cdot 10^{23} \text{ at. de Bi}$$

- **La actividad** de esa muestra de 50 g de Bismuto:

$$A_{(t)} = \frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N_{Bi} = 1,908 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1} \cdot 1,44 \cdot 10^{23} \text{ at. Bi} = 2,75 \cdot 10^{19} \text{ at Bi des/s (Bq)}$$

6. Tenemos $6,023 \cdot 10^{23}$ átomos del isótopo radiactivo Cr-51, con un período de semidesintegración de 27 d. ¿Cuántos átomos quedarán al cabo de los 6 m?

- **Constante de desintegración radiactiva:** $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{27 \text{ d}} = 0,0257 \text{ d}^{-1}$
- **Átomos de Cr-51 que quedan sin desintegrar**, al cabo de los 6 meses:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = 6,023 \cdot 10^{23} \cdot e^{-0,0257(\text{d}^{-1}) \cdot 6,30 \text{ d}} = 5,9 \cdot 10^{21} \text{ at. de Cr-51}$$

10 Problemas resueltos de física nuclear

7. Se tiene una muestra de 20 g de polonio 210, cuyo período de semidesintegración es 138 días. ¿Qué cantidad quedará cuando hayan transcurrido 30 días?

- **Constante de desintegración radiactiva:** $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{138 d} = 5,023 \cdot 10^{-3} d^{-1}$
- **Número de átomos** que hay en 20g de Polonio:

$$N_{\text{át. Po}} = \frac{20 \text{ g Po}}{210 \text{ g/mol}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \frac{\text{at. Po}}{\text{mol}} = 5,736 \cdot 10^{22} \text{ at. Po}$$

- **Átomos de Po-210 que quedan sin desintegrar**, al cabo de los 138 días:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = 5,736 \cdot 10^{22} \cdot e^{-5,023 \cdot 10^{-3} (d^{-1}) \cdot 30d} = 4,93 \cdot 10^{22} \text{ at. de Po} - 210$$

- **Y ahora los gramos de Po-210 sin desintegrar:**

$$\frac{4,93 \cdot 10^{22} \text{ at. Po}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ atomos/mol}} \cdot 210 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 17,2 \text{ g Po}$$

- **Se puede trabajar en unidades de masa:**

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = 20(\text{g}) \cdot e^{-5,023 \cdot 10^{-3} (d^{-1}) \cdot 30d} = 17,2 \text{ g de Po} - 210$$

10 Problemas resueltos de física nuclear

8. La actividad de un resto arqueológico es de 120 desintegraciones/s. (Período de semidesintegración del C-14 es 5700 años). La misma masa de una muestra actual de idéntica composición posee una actividad de 360 desintegraciones/s. a) Explique a qué se debe dicha diferencia y calcule la antigüedad de las muestras arqueológicas. b) ¿Cuántos átomos de C-14 tiene la muestra arqueológica en la actualidad? ¿Tienen ambas muestras el mismo número de átomos de carbono?

- En el resto arqueológico la cantidad de C-14, (rad), disminuye exponencialmente con el tiempo. A partir de las actividades de las muestras, se calcula su antigüedad:

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow 120 \frac{\text{des}}{\text{s}} = 360 \frac{\text{des}}{\text{s}} \cdot e^{-1,216 \cdot 10^{-4} (a^{-1}) \cdot t} \Rightarrow \ln \frac{120}{360} = -1,216 \cdot 10^{-4} (a^{-1}) \cdot t \Rightarrow t = 9034 a$$

- Constante de desintegración radiactiva: $\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{5700 a} = 1,216 \cdot 10^{-4} a^{-1} = 3,86 \cdot 10^{-12} s^{-1}$
- Los átomos de carbono los calculamos a partir de las respectivas actividades:

$$A_{\text{resto Arq}} = \lambda \cdot N_{RA} \Rightarrow N_{RA} = \frac{120 \text{ des/s}}{3,86 \cdot 10^{-12} s^{-1}} = 3,11 \cdot 10^{13} \text{ at. C} - 14 \text{ resto Arq}$$

$$A_{\text{mue. Act}} = \lambda \cdot N_{MA} \Rightarrow N_{MA} = \frac{360 \text{ des/s}}{3,86 \cdot 10^{-12} s^{-1}} = 9,34 \cdot 10^{13} \text{ at. C} - 14 \text{ muestra Act.}$$

10 Problemas resueltos de física nuclear

9. Calcula el defecto de masa, la energía de enlace y la energía de enlace por nucleón para el núcleo de Helio-3.

Datos: masa protón = 1,00729 u; masa neutrón = 1,00867 u; Masa He = 3,01603 u.

- Defecto de masa en la formación del núcleo de Helio - 3:

$$\Delta m = Z.m_p + (A-Z).m_n - M_{He} = 2.1,00729 u + 1,00867 u - 3,01603 u = 7,22.10^{-3} u$$

- El defecto de masa se transforma en Energía, de acuerdo con la ecuación de Einstein.

$$\Delta E = \Delta m.c^2 = 7,22.10^{-3} u . 931 \frac{MeV}{u} = 6,72 MeV$$

- La energía de enlace por nucleón es:

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{6,72 MeV}{3} = 2,24 \frac{MeV}{nucleón(A)}$$

- Cuanto mayor sea la energía de enlace por nucleón, más estable es el núcleo.**

10 Problemas resueltos de física nuclear

10. Una sustancia radiactiva se desintegra según la expresión: $N = N_0 . e^{-0,4 t}$

Calcular el período de semidesintegración.

- Comparando esa expresión con la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_0 . e^{-0,4 t(s)} \Leftrightarrow N = N_0 . e^{-\lambda t(s)} \Rightarrow \lambda = 0,4 s^{-1}$$

- El periodo de semidesintegración: $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{\ln 2}{0,4 s^{-1}} = 1,73 s$

11. El radón-222 se desintegra con un período de 3,9 días. Si inicialmente se dispone de 20 μg . ¿Cuánto quedará al cabo de 7,6 días?.

- A partir de la ley de desintegración radiactiva:

$$N = N_0 . e^{-\lambda . t(d)} \Rightarrow N = 20 \mu g . e^{-\frac{\ln 2}{3,9d} 7,6d} = 5,18 \mu g$$

- Es el Radón-222 que queda sin desintegrar al cabo de 7,6 días

10 Problemas resueltos de física nuclear

12. Una sustancia radiactiva tiene un período de semidesintegración de 6 días. Si inicialmente tenemos una muestra de 1 g, calcular su actividad a los 2 días, así como el número de átomos que se han transformado. Dato: $M = 60 \text{ g/mol}$.

- A partir de la ley de desintegración radiactiva, a los 2 d, quedan sin desintegrar:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \Rightarrow N = 1(\text{g}) \cdot e^{-\frac{\ln 2}{6d} \cdot 2d} = 0,794 \text{ g}$$

- La actividad a los dos días:

$$A_{(t)} = \lambda \cdot N = \frac{\ln 2}{6.24.3600 \text{ s}} \cdot \frac{0,794 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \frac{\text{at.}}{\text{mol}} = 1,06 \cdot 10^{16} \frac{\text{at. des}}{\text{s}} (\text{Bq})$$

- Átomos que se han transformado:

$$N_{\text{transfor}} = \frac{(1 - 0,794) \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \frac{\text{at}}{\text{mol}} = 2,07 \cdot 10^{21} \text{ átomos transformados}$$

13. Razona si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- Una vez transcurridos dos períodos de semidesintegración todos los núcleos de una muestra radiactiva se han desintegrado.
- La actividad de una muestra radiactiva es independiente del tiempo.

- Falso: quedará una cuarta parte de la muestra radiactiva inicial.
- Falso: la actividad de una muestra radiactiva depende del tiempo: $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$

10 Problemas resueltos de física nuclear

14. Calcula la energía que se libera en la reacción nuclear: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$
 Datos: m.at. Li-7 = 7,0182 u; masa protón = 1,0073 u; m.at. He-4 = 4,0038 u.

- En toda reacción nuclear se pierde masa que se libera en forma de energía.

$$\Delta m = m_R - m_P = 7,0182 \text{ u} + 1,0073 \text{ u} - 2 \cdot 4,0038 \text{ u} = 0,0179 \text{ u}$$

- La masa se transforma en energía.** $\Delta E = \Delta m \cdot c^2 = 0,0179 \text{ u} \cdot 931 \frac{\text{MeV}}{\text{u}} = 16,66 \text{ MeV}$

15. En la fisión de un núcleo de Uranio-235 se liberan 200 MeV de energía. ¿Qué cantidad de Uranio-235 se consume en un año, en un reactor nuclear de 1000 Mw de potencia?

- Calculamos la energía que produce al año dicha central:

$$E = P \cdot t = 10^9 \text{ W} \cdot 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{d}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 3,15 \cdot 10^{16} \frac{\text{J}}{\text{año}}$$

- Esa energía se obtiene a partir de la masa de Uranio que se fisiona:

$$\Delta E = \Delta m \cdot c^2 \Rightarrow \frac{3,15 \cdot 10^{16} \text{ J/año}}{200 \cdot 10^6 \text{ eV/núcleo} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 9,855 \cdot 10^{26} \frac{\text{núcleos U-235}}{\text{año}}$$

- Los núcleos los pasamos a moles y a continuación a kg:

$$m_{\text{U-235}} = \frac{9,855 \cdot 10^{26} \text{ núcl/a}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ núcl/mol}} = 1636,23 \frac{\text{moles U235}}{\text{a}} \cdot 235 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{g}} = 384,5 \frac{\text{kg de U235}}{\text{año}}$$

10 Problemas resueltos de física nuclear

16. Una central nuclear de 800 Mw de potencia, utiliza como combustible uranio enriquecido hasta el 3% del isótopo fisionable. ¿Cuántas fisiones por segundo deben producirse?. ¿Cuántas toneladas de combustible consumirá en un año?.

En la fisión de un núcleo de U-235 se liberan 200 MeV.

- Calculamos la energía que produce la central por segundo:

$$E_{\text{central.s}^{-1}} = P \cdot t = 800 \cdot 10^6 \text{ w} \cdot 1 \text{ s} = 8 \cdot 10^8 \text{ J}$$

- 1 núcleo de U-235 libera una energía:

$$200 \text{ MeV} = 200 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.e}^{-1} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J.núcleo}^{-1}$$

- Átomos que se fisionan cada segundo:

$$n_{U-235} = \frac{8 \cdot 10^8 \text{ J}}{3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J.núc}^{-1}} = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ átomos fisionan.s}^{-1}$$

- Combustible de U-235 enriquecido al 3% que se consume al año:

$$m_{U-235} = \frac{2,5 \cdot 10^{19} \text{ át.s}^{-1}}{6,023 \cdot 10^{23} \text{ át.mol}^{-1}} \cdot 235 \text{ g.mol}^{-1} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365 \text{ s.a}^{-1} \cdot \frac{100}{3} = 10,25 \text{ Tm U} - 235 \cdot \text{a}^{-1}$$

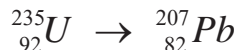
11 Cuestiones de física nuclear

1. Comentar 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 2 unidades y su número atómico en 1.

2. a) Escribir la ley de desintegración radiactiva y explicar el significado de cada símbolo. b) Un núcleo radiactivo tiene un período de semidesintegración de 1 año. ¿Significa esto que se habrá desintegrado completamente en dos años? . Razonar la respuesta.

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

4. Responder breve y 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?.



5. Comparar las características más importantes de las interacciones gravitatoria, electromagnética y nuclear fuerte. b) Explicar cuál o cuáles de dichas interacciones serían importantes en una reacción nuclear, ¿por qué?.

6. a) ¿Por qué los protones permanecen unidos en el núcleo, a pesar de que sus cargas tienen el mismo signo?. b) Comparar las características de la interacción responsable de la estabilidad nuclear con las de otras interacciones, refiriéndose a su origen, intensidad relativa, alcance, etc.

7. a) La masa de un núcleo atómico no coincide con la suma de las masas de las partículas que lo constituyen. ¿Es mayor o menor? ¿Cómo justifica esa diferencia? b) ¿Qué se entiende por estabilidad nuclear? Explicar, cualitativamente, la dependencia de la estabilidad nuclear con el número másico.

8. Describir el origen y las características de los procesos de emisión radiactiva alfa, beta y gamma. b) Indicar el significado de las siguientes magnitudes: período de semidesintegración, constante radiactiva y vida media.

9. Enumerar las interacciones fundamentales de la naturaleza y explicar las características de cada una. b) ¿Cómo es posible la estabilidad de los núcleos a pesar de la fuerte repulsión eléctrica entre sus protones?.

12 Problemas de física nuclear

11. La vida media del Fe-55 es de 2,6 años. a) Explicar las características del proceso de desintegración e indicar el significado de período de semidesintegración y vida media. b) Calcular la constante de desintegración radiactiva y el tiempo en que 1 mg de muestra se reduce a la mitad.

12. En el año 1898 Marie y Pierre Curie aislaron 200 mg de radio, cuyo período de semidesintegración es de 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?

13. El ${}^{14}_6\text{C}$ se desintegra dando ${}^{14}_7\text{N}$ y emitiendo una partícula beta. El período de semidesintegración del C-14 es de 5376 años. a) Escribir la ecuación del proceso de desintegración y explicar cómo ocurre. b) Si la actividad debida al C-14 de los tejidos encontrados en una tumba es del 40% de la que presentan los tejidos similares actuales, ¿cuál es la edad de aquellos?.

14. El período de semidesintegración de un nucleido radiactivo, de masa atómica 200 u que emite partículas beta es de 50 s. Una muestra, cuya masa inicial era 50 g, contiene en la actualidad 30 g del nucleido original. a) Indicar las diferencias entre el nucleido original y el resultante y representar gráficamente la variación con el tiempo de la masa del nucleido original. b) Calcular la antigüedad de la muestra y su actividad actual. $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

15. a) Indicar las partículas constituyentes de los dos nucleidos ${}^3_1\text{H}$ y ${}^3_2\text{He}$ y explicar qué tipo de emisión radiactiva permitiría pasar de uno a otro. b) Calcular la energía de enlace para cada uno de los nucleidos e indicar cuál de ellos es más estables. Datos: $m_{\text{He-3}} = 3,016029 \text{ u}$; $m_{\text{H-3}} = 3,016049 \text{ u}$; $m_p = 1,0073 \text{ u}$; $m_n = 1,0086 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

12 Problemas de física nuclear

16. El ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ se desintegra para dar ${}^{222}_{86}\text{Rn}$. a) Indicar el tipo de emisión radiactiva y escribir la ecuación de dicha reacción nuclear. b) Calcular la energía liberada en el proceso. Datos: $m_{\text{Ra}} = 226,0960 \text{ u}$; $m_{\text{Rn}} = 222,0869 \text{ u}$; $m_{\text{He}} = 4,00387 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

17. a) Justificar cuantitativamente cuál de los núclidos ${}^{16}_8\text{O}$ y ${}^{218}_{84}\text{Po}$ es más estable. b) En la desintegración del núcleo Po-218 se emite una partícula alfa y dos partículas beta, obteniéndose un nuevo núcleo. Indicar las características de dicho núcleo resultante. ¿Qué relación existe entre el núcleo inicial y final.

Datos: $m_{\text{O}} = 15,994915 \text{ u}$; $m_{\text{Po}} = 218,009007 \text{ u}$; $m_p = 1,007325 \text{ u}$; $m_n = 1,008665 \text{ u}$.

18. En un reactor tiene lugar la reacción: ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0n = {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_Z\text{Kr} + a {}^1_0n$
a) Calcular el número atómico Z, del Kr, y el número de neutrones a, emitidos en la reacción indicando las leyes de conservación utilizadas para ello. b) ¿Qué masa de ${}^{235}_{92}\text{U}$ se consume por hora en una central nuclear de 800 Mw, sabiendo que la energía liberada en la fisión de un átomo de U-235 es de 200 MeV? Datos: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ y $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

19. El I-131 es un isótopo radiactivo 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) Explicar cómo ha cambiado una muestra de 20 mg de I-131 tras estar almacenada en un hospital durante 48 días. b) ¿Cuál es la actividad de un microgramo de I-131.?

20. En un proceso de desintegración el núcleo radiactivo emite una partícula alfa. La constante de desintegración de dicho proceso es $2 \cdot 10^{-10} \text{ s}^{-1}$. a) Explicar cómo cambian las características del núcleo inicial y escribir 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?? Datos: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.