



11

Física de partículas

PARA COMENZAR

- ¿Qué quiere decir que una partícula es fundamental? ¿Es el muon una partícula fundamental? ¿Qué partículas fundamentales conoces?**

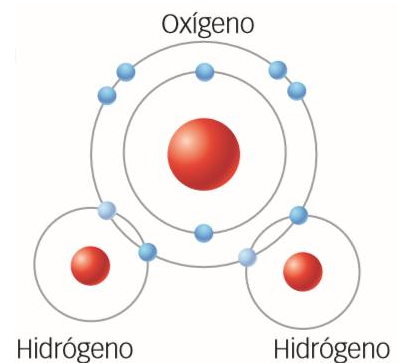
Quiere decir que no está constituida por otras partículas más pequeñas. El muon sí es una partícula fundamental, porque no está formada por otras partículas de menor tamaño.

Respuesta personal. Algunas partículas fundamentales: electrón, fotón, neutrino, quark.
- Cuando se coloca un potente imán cerca de una cámara de niebla, pueden observarse algunas estelas curvadas. Explica este fenómeno.**

Cuando se coloca un imán cerca de un detector de partículas, las partículas que llegan al detector sufren la acción del campo magnético del imán, y entonces pueden sufrir una fuerza de Lorentz si la velocidad de la partícula y el campo magnético no son paralelos.

ACTIVIDADES

- La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, tal y como se representa. Teniendo en cuenta que el radio del átomo de O es $0,66 \text{ \AA}$ y el radio del átomo de H es $0,31 \text{ \AA}$, calcula:**



- La fuerza gravitatoria entre un átomo de O y un átomo de H.
- La fuerza electrostática (indica su sentido) entre el núcleo de un átomo de H y el de un átomo de O.
- La fuerza gravitatoria entre los electrones de un enlace y el núcleo del átomo de O.
- La fuerza electrostática entre los electrones de un enlace y el núcleo del átomo de O.

Dato: $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$. Ver otros datos en estas páginas.

- La fuerza gravitatoria se calcula a partir de la masa de las partículas y de la distancia que las separa. El átomo de hidrógeno está formado por un protón y un electrón, y el átomo de oxígeno, por ocho protones, ocho neutrones y ocho electrones. Aproximando la masa del neutrón a la del protón obtenemos:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{(1,673 \cdot 10^{-27} + 9,110 \cdot 10^{-31}) \text{ kg} \cdot (16 \cdot 1,673 \cdot 10^{-27} + 8 \cdot 9,110 \cdot 10^{-31}) \text{ kg}}{(0,66 \cdot 10^{-10} \text{ m} + 0,31 \cdot 10^{-10} \text{ m})^2} = 3,18 \cdot 10^{-43} \text{ N}$$

- La fuerza existente entre ambas partículas es de repulsión, pues tanto el núcleo de H como el de O tienen carga neta positiva. La dirección es la de la recta que contiene a ambos núcleos y el sentido, en cada núcleo, el que apunta en sentido opuesto al otro núcleo. Teniendo en cuenta que la carga del núcleo de H será igual a la carga del protón que lo constituye, y la carga del núcleo de O, a la de los ocho protones que contiene se obtiene:

$$F = K \cdot \frac{q_H \cdot q_O}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{[(0,66 + 0,31) \cdot 10^{-10} \text{ m}]^2} = 1,96 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

- En este caso la distancia entre ambas masas será igual al radio del átomo de O, m_1 será la masa de uno de los electrones que forman el enlace y m_2 será la masa del núcleo del átomo de O, es decir, la masa de 8 protones y 8 neutrones.

Aproximando, igual que antes, la masa del neutrón a la del protón obtenemos:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{9,110 \cdot 10^{-31} \text{kg} \cdot 16 \cdot 1,673 \cdot 10^{-27} \text{kg}}{(0,66 \cdot 10^{-10} \text{m})^2} = 3,73 \cdot 10^{-46} \text{N}$$

- d) La fuerza existente entre ambas partículas es de atracción, pues el electrón del enlace tiene carga negativa y el núcleo de O tiene carga positiva. Teniendo en cuenta que la carga del núcleo del átomo de oxígeno es ocho veces la carga del protón porque está formado por ocho protones:

$$F = K \cdot \frac{q_H \cdot q_O}{d^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{C} \cdot 8 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}}{(0,66 \cdot 10^{-10} \text{m})^2} = 4,23 \cdot 10^{-7} \text{N}$$

2. El núcleo de radón-220 se desintegra emitiendo un núcleo de helio-4 a $1,75 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ y deja un átomo de polonio-216. Si el radón estaba inicialmente en reposo, ¿qué velocidad tendrá el átomo de polonio? (Se supone que no hay otros intercambios de energía).

Datos: $M({}_2^4\text{He}) = 4,003 \text{ u}$; $M({}_{84}^{216}\text{Po}) = 216,051 \text{ u}$.

En el proceso se debe conservar el momento lineal. Si el núcleo inicial se desintegra en dos, cada uno saldrá en un sentido, ambos con la misma dirección. El momento lineal total debe ser nulo:

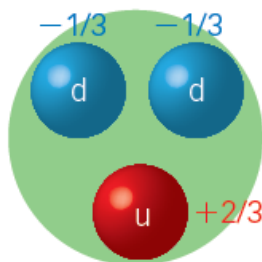
$$\vec{p} = 0 \rightarrow \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0 \rightarrow \vec{p}_1 = -\vec{p}_2 \rightarrow p_2 = p_1 \rightarrow m_{\text{Po}} \cdot v_{\text{Po}} = m_{\text{He}} \cdot v_{\text{He}} \rightarrow$$

$$\rightarrow v_{\text{Po}} = \frac{m_{\text{He}} \cdot v_{\text{He}}}{m_{\text{Po}}} = \frac{4,003 \cancel{\text{u}}}{216,051 \cancel{\text{u}}} \cdot 1,75 \cdot 10^7 \text{ m/s} = 3,24 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

Se mueve en dirección opuesta al núcleo de helio.

3. Dibuja los quarks que forman un neutrón. Obtén la carga eléctrica del neutrón a partir de las características de sus quarks. Analiza cómo puede ser el espín y la carga de color de cada quark que forma el neutrón.

El neutrón está formado por dos quarks d y un quark u. En el dibujo el color de los quarks únicamente hacer referencia a su carga eléctrica. No se ha tenido en cuenta la carga de color.



La carga del neutrón se calcula a partir de las cargas de los quarks que lo constituyen:

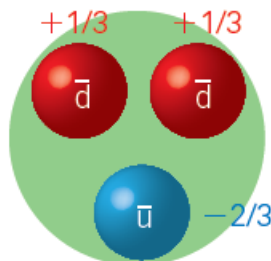
$$q_n = 2 \cdot q(d) + q(u) = 2 \cdot \left(-\frac{1}{3}\right) + \frac{2}{3} = 0$$

El espín del neutrón debe ser semientero, pues cada uno de los quarks tiene espín semientero.

La carga de color de cada quark que forma el neutrón debe ser tal que la partícula sea globalmente «incolora». Es decir, habrá un quark «rojo», otro «verde» y otro «azul».

4. Dibuja los quarks que forman un antineutrón. Obtén la carga eléctrica del antineutrón a partir de las características de sus quarks. Analiza cómo puede ser el espín y la carga de color de cada quark del antineutrón.

El antineutrón está formado por dos antiquarks \bar{d} y un antiquark \bar{u} . En el dibujo el color de los quarks únicamente hace referencia a su carga eléctrica. No se ha tenido en cuenta la carga de color por el momento.



La carga del antineutrón se calcula a partir de las cargas de los antiquarks que lo constituyen:

$$q_{\bar{n}} = 2 \cdot q(\bar{d}) + q(\bar{u}) = 2 \cdot \left(+\frac{1}{3} \right) + \left(-\frac{2}{3} \right) = 0$$

El espín del antineutrón debe ser semientero, pues cada uno de los antiquarks tiene espín semientero. La carga de color de cada quark que forma el antineutrón debe ser tal que la partícula sea globalmente «incolora». Es decir, habrá un quark «antirrojo», otro «antiverde» y otro «antiazul».

5. Teniendo en cuenta las distancias que se expresan más abajo, razona cuáles son las interacciones más importantes que tienen lugar:

- Entre dos moléculas de agua.
- Dentro de una molécula de agua.
- Dentro del átomo de O.
- Dentro del núcleo del átomo de O.

Datos: distancia entre los centros de dos moléculas de agua: $3 \cdot 10^{-10}$ m;

diámetros: molécula de agua $\rightarrow 1,5 \cdot 10^{-10}$ m; átomo de O $\rightarrow 10^{-10}$ m; núcleo $\rightarrow 10^{-15}$ m; protón $\rightarrow 10^{-17}$ m.

- a) Entre dos moléculas de agua las interacciones más importantes son las eléctricas, puesto que a esa distancia las fuerzas nucleares tienen una intensidad muy, muy reducida.

La fuerza gravitatoria también es muy pequeña.

Pero como el núcleo de oxígeno tira más fuerte del par de electrones del enlace que el núcleo de hidrógeno, la molécula de agua es polar. Existe una cierta carga negativa desplazada hacia el núcleo de oxígeno y una cierta carga positiva desplazada hacia el núcleo de hidrógeno. Por tanto, se producen fuerzas de naturaleza eléctrica entre el átomo de oxígeno de una molécula y el átomo de hidrógeno de una molécula vecina.

- Dentro de una molécula de agua predominan las fuerzas eléctricas que ligan los electrones del enlace con los átomos que forman la molécula.
- Dentro del átomo de O predominan las fuerzas eléctricas existentes entre los electrones, con carga negativa, y el núcleo del átomo, con carga positiva.
- Dentro del núcleo del átomo de O predominan las fuerzas nucleares. Los protones se repelen entre sí, pero entre los neutrones y protones del núcleo existe una fuerza nuclear, la fuerza nuclear fuerte, que mantiene unido al núcleo.

6. Analiza cuáles de las siguientes partículas son fermiones y cuáles son bosones:

- | | | |
|-------------|----------------------|---------------------|
| a) Muon. | e) Quark arriba (u). | i) Fotón. |
| b) Neutrón. | f) Pion. | j) Quark fondo (b). |
| c) Z. | g) Neutrino. | |
| d) Sigma. | h) Gluon. | |

Fermiones: muon, neutrón, sigma, quark arriba, neutrino, quark fondo.

Bosones: Z, pion, gluon, fotón.

7. Razona cuál es el tipo de partícula de intercambio que aparece o es responsable de los siguientes fenómenos:

- Estabilidad del núcleo.
- Efecto fotoeléctrico.
- Estabilidad del protón.
- Emisión de radiación beta por un núcleo atómico.

- Pion.
- Antineutrino
- Gluon.
- Antineutrino.

8. El esquema del margen muestra todas las partículas elementales del modelo estándar y la relación entre ellas. Observa el gráfico y responde:

- ¿Por qué no hay ninguna línea que enlace el bosón de Higgs con los fotones y los gluones?
- ¿Por qué hay un bucle en torno al bosón de Higgs? ¿Qué significa?
- ¿Por qué hay un bucle en torno a los gluones? ¿Qué significa?
- ¿Por qué no hay ningún bucle en torno a los leptones ni en torno a los quarks?
- ¿Por qué no hay ningún enlace entre los gluones y los leptones?

- Porque los fotones y los gluones no tienen masa, y el bosón de Higgs interactúa con las partículas que tienen masa.
- Porque el bosón de Higgs sí tiene masa. El bucle significa que interactúa consigo mismo.
- Porque los gluones son los portadores de la fuerza fuerte y a su vez se ven afectados por ella.
- Porque ni los leptones ni los quarks transmiten ninguna interacción.
- Porque a los leptones no les afecta la fuerza fuerte, la que transmiten los gluones.

9. Comprueba que en la desintegración beta del neutrón se conserva:

- | | | |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| a) La carga eléctrica. | b) El número leptónico. | c) El número bariónico. |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|

- En la desintegración beta del neutrón:

$$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$$

El balance de carga eléctrica es:

$$0 \rightarrow 1 + (-1) + 0 = 0$$

Es decir, se conserva la carga eléctrica en el proceso.

b) El balance de número leptónico es:

$$0 \rightarrow 0 + 1 + (-1) = 0$$

Es decir, se conserva el número leptónico.

c) El balance de número bariónico es:

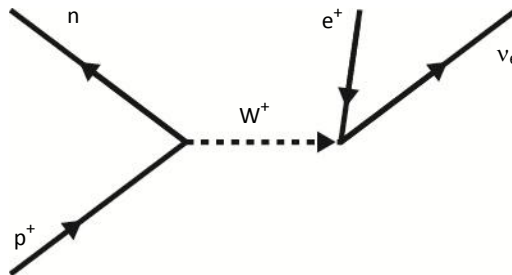
$$1 \rightarrow 1 + 0 + 0 = 1$$

Es decir, se conserva el número bariónico.

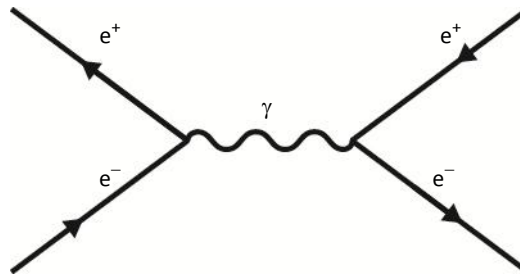
10. Escribe el diagrama de Feynman correspondiente a los siguientes procesos:

- a) Un protón decae dando un positrón y un neutrino electrónico.
- b) Un electrón y un positrón intercambian un fotón dando un electrón y un positrón en otro estado energético.

a) El diagrama correspondiente es:

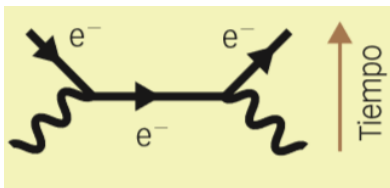


b) El diagrama correspondiente es:

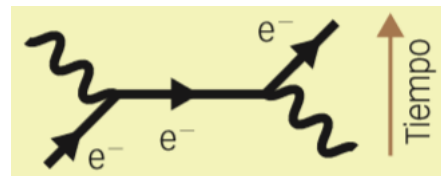


11. Describe la interacción que se representa en los siguientes diagramas de Feynman:

a)

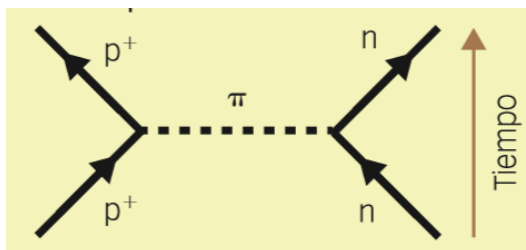


b)



- a) Dos fotones interaccionan y dan lugar a un electrón y un positrón.
- b) Un electrón interacciona con un fotón y tras el proceso aparecen de nuevo el fotón y el electrón.

12. Observa la interacción que se describe en el siguiente esquema:



- a) Identifica el tipo de interacción fundamental.
- b) Comprueba que se conservan la carga eléctrica y los números leptónico y bariónico.

- a) Se trata de la interacción nuclear fuerte. Un protón interacciona con un neutrón, intercambian un pion y tras el proceso aparecen de nuevo un protón y un neutrón.
- b) La carga eléctrica se conserva, puesto que el pion tiene carga positiva. La carga neta es cero antes y después del proceso.

El número leptónico se conserva porque tenemos las mismas partículas al principio que al final.

$$0 + 0 = 0 + 0$$

Lo mismo ocurre con el número bariónico.

$$1 + 1 = 1 + 1$$

13. Razona qué ventajas e inconvenientes puede tener un acelerador lineal frente a uno circular.

En un acelerador lineal es más sencillo acelerar a las partículas: resulta más sencillo la disposición de los imanes y otros elementos necesarios para acelerar las partículas. Además, en un acelerador lineal las partículas cargadas no emiten radiación debido al giro, tal y como ocurre en los aceleradores circulares. Por el contrario, se necesita una instalación kilométrica para conseguir partículas con energías muy intensas, como las que se estudian en la actualidad para poder formar algunos quarks, por ejemplo.

En un acelerador circular pueden conseguirse energías muy altas sin aumentar más y más las dimensiones de la instalación, aunque se necesitan imanes muy potentes para conseguir energías cada vez más altas en los giros de las partículas que luego colisionan.

14. Busca información que te permita construir una línea de tiempo en la que figure la energía alcanzada en cada colisionador y las partículas detectadas en él.

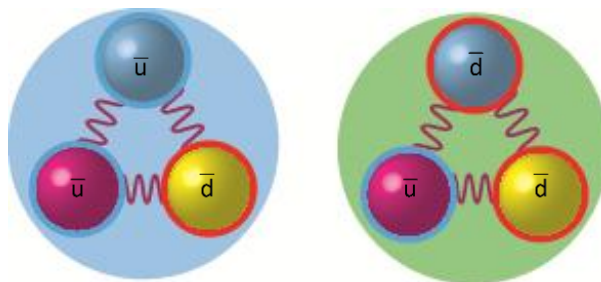
Respuesta personal. Sugerir a los alumnos y alumnas la búsqueda de información en fuentes oficiales, como las páginas web del CERN o del Fermilab.

Colisionador	Año	Energía alcanzada (GeV)
PS (CERN)	1959	28
SLAC	1961	22
Fermilab	1972	500
DESY	1974	7
SPS (CERN)	1976	5600
Tevatrón (Fermilab)	1982	1000
LHC (CERN)	2008	13 000

15. Elabora un dibujo similar a la figura A para representar un antiprotón y otro para representar un antineutrón.

- a) ¿Cuál es la masa de un antiprotón? ¿Y su carga?
- b) ¿Cuál es la masa de un antineutrón? ¿Y su carga? ¿En qué se diferencia un antineutrón de un neutrón?

Respuesta:



Un antiprotón está formado por dos antiquarks u y un antiquark d. Un antineutrón está formado por dos antiquarks d y un antiquark u. Los antiquarks con borde azul tienen carga negativa ($-2/3$ en este caso), y los que tienen borde rojo, carga positiva ($+1/3$ en este caso).

- La masa de un antiprotón es la misma que la masa de un protón. Su carga eléctrica es opuesta. Es decir, tiene una carga de $-2/3 - 2/3 + 1/3 = -1$. O sea, $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C.
- La masa de un antineutrón es la misma que la masa de un neutrón. Su carga eléctrica es nula, como la del neutrón. Un antineutrón es distinto de un neutrón. El antineutrón está formado por dos antiquarks \bar{d} y un antiquark \bar{u} .

16. Según el texto, ¿la masa de un protón coincide con la suma de las masas de los quarks que lo constituyen? ¿Cómo se explica este hecho?

No, la masa de un protón es mucho mayor que la masa de los tres quarks que lo constituyen. Esto se explica suponiendo que en el protón, además de los dos quarks u y el quark d, existe un mar de quarks y antiquarks, y de gluones, todos ellos moviéndose con velocidades relativistas, es decir, con mucha energía. Además, existe energía en el protón debido a los enlaces que se producen entre las partículas debido a la interacción nuclear fuerte. Todo esto provoca que la masa del protón sea mucho mayor que la masa de los quarks de valencia; esto es, los quarks que no tienen su antipartícula asociada en el mar de quarks.

17. ¿Qué es el «mar de quarks» al que se hace referencia en el documento?

Es un conjunto formado por parejas quarks-antiquarks moviéndose con velocidades relativistas y que permanecen confinados en el interior de los protones y de los neutrones, determinando que la masa de estos sea mucho mayor que la masa de los quarks de valencia que forman estas partículas: uud para el protón y udd para el neutrón.

18. Coloca en orden creciente de masa estas partículas:

- Átomo de O.
- Protón.
- Electrón.
- Quark arriba.
- Pion.
- Neutrino.
- Molécula de agua.
- Bosón de Higgs.

La que tiene menor masa es el neutrino. El orden adecuado sería:

neutrino < electrón < pion < quark arriba < protón < átomo de oxígeno < molécula de agua < bosón de Higgs

19. Indica cuáles de las siguientes partículas son elementales y cuáles tienen una estructura interna:

- Positrón.
- Neutrón.
- Neutrino.
- Barión.
- Quark arriba.
- Pion.
- Partícula tau.
- Partícula sigma.

Son elementales: positrón, neutrino, quark arriba, partícula tau.

Tienen estructura interna: neutrón (udd), pion (quark-antiquark: $u\bar{u}$, $d\bar{d}$, $u\bar{d}$), partícula sigma (uus, uds, dds).

20. Busca información en el texto para completar en tu cuaderno la tabla siguiente. Teniendo en cuenta la composición de cada partícula, justifica su carga eléctrica. Identifica cada una de ellas como mesón o barión.

Respuesta:

Símbolo	n	Y	Ω^-	ϕ	Λ^0	Ξ^-
Nombre	Neutrón	Upsilon	Omega	Phi	Lambda	Xi
Composición	udd	$b\bar{b}$	sss	$s\bar{s}$	uds	dss
Carga	0	0	-1	0	0	-1
Tipo de hadrón	Barión	Mesón	Barión	Mesón	Barión	Barión

21. Explica qué tipo de interacción fundamental es responsable de los siguientes fenómenos:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| a) Disolución de sal común en agua. | e) Estabilidad de un átomo. |
| b) Formación de auroras boreales. | f) Estabilidad de un núcleo atómico. |
| c) Transformación de un neutrón en un protón. | g) Estabilidad de un protón. |
| d) Mareas altas y bajas. | |
-
- | | |
|----------------------------------|--|
| a) Interacción electromagnética. | e) Interacción electromagnética. |
| b) Interacción electromagnética. | f) Interacción nuclear fuerte residual. |
| c) Interacción nuclear débil. | g) Interacción nuclear fuerte fundamental. |
| d) Interacción gravitatoria. | |

22. El estudio de las distintas interacciones evolucionó hacia lo que se conoce como teorías de unificación. Explica en qué consisten y en qué condiciones se pueden dar las siguientes:

- | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| a) Unificación electromagnética. | c) Teoría de la gran unificación. |
| b) Unificación electrodébil. | d) Teoría del todo. |
-
- La unificación electromagnética puso de manifiesto que las fuerzas eléctricas y magnéticas están relacionadas y pueden unificarse en una sola fuerza: la electromagnética.
 - La unificación electrodébil relaciona la fuerza nuclear débil y la fuerza electromagnética. Esta unificación tiene lugar a energías muy altas, lo que equivale a una época en la que el universo tenía una edad temprana.
 - Unifica la teoría electrodébil y la fuerza nuclear fuerte. Tiene lugar a energías aún más altas que en el caso anterior; es decir, esta unificación tuvo lugar en una época muy temprana de la historia del universo.
 - La teoría del todo relaciona la fuerza gravitatoria con todas las demás. Pero aún no hay indicios de esta unificación. No existe una teoría que unifique las teorías de gran unificación con la interacción gravitatoria.

23. Razona en qué casos es cierta o es falsa la siguiente afirmación:

«La intensidad de una interacción aumenta cuanto más próximas están las partículas que la sufren».

Es adecuada para describir algunas interacciones, como la gravitatoria o la eléctrica, pero es cierta para las demás. Por ejemplo, en los quarks existe una fuerza llamada nuclear fuerte que es más intensa a medida que intentamos separar los quarks; por eso no se observan quarks aislados, sino que siempre aparecen formando parte de otras partículas formadas por dos o tres partículas, como los mesones o los nucleones.

24. Explica por qué el protón tiene una carga eléctrica de +1 y el neutrón tiene carga eléctrica 0 si ambos están formados por tres quarks.

Porque no están formados por los mismos quarks. El quark u tiene carga $+2/3$, mientras que el quark d tiene una carga de $-1/3$, en unidades de la carga del electrón. Como un protón tiene una constitución uud, tendrá $+2/3 + 2/3 - 1/3 = 0$. Y el neutrón tendrá una carga igual a $-1/3 - 1/3 + 2/3 = 0$.

25. Relaciona en tu cuaderno las siguientes interacciones con la partícula mediadora correspondiente:

- a) Colisión entre un electrón y un positrón → Fotón
- b) Conversión de un protón en un neutrón → Mesón
- c) Unión entre dos protones en un núcleo → Mesón
- d) Unión entre las partículas que forman un mesón → Gluon
- e) Interacción entre un neutrón y un neutrino → Z^0
- f) Colisión entre un protón y un antiprotón → Fotón

26. El muon es un leptón con carga -1 que sufre un decaimiento, convirtiéndose en un neutrino muon.

- a) **Utiliza las leyes de conservación de carga eléctrica, número leptónico y bariónico para determinar todas las partículas que intervienen en el proceso.**
- b) **¿Cuál puede ser la partícula mediadora de la interacción?**

a) Aplicamos la conservación de la carga eléctrica:

$$\mu \rightarrow X + \nu_\mu$$

A la izquierda la carga es -1 . A la derecha es 0 . Por tanto, debe formarse una partícula con carga negativa -1 . El número leptónico asociado al muon a la izquierda es 1 y a la derecha es 1 , por lo que la partícula X no debe estar asociada al muon.

El número bariónico es 0 a ambos lados. Ya está conservado, por lo que la partícula formada no es un barión. La partícula X es un electrón.

Y para que se conserve el número leptónico asociado al electrón, también debe formarse un antineutrino del electrón, que tiene número leptónico asociado al electrón -1 . La ecuación, queda, pues:

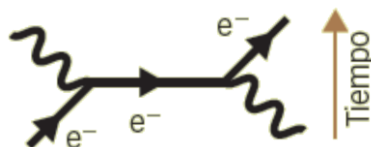
$$\mu \rightarrow e + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

- b) La partícula mediadora de la interacción debe ser un bosón portador de la interacción débil, puesto que hay neutrinos involucrados en el proceso. Es el W^- , pues el muon da lugar a una partícula con carga negativa: el electrón, y dos neutrinos.

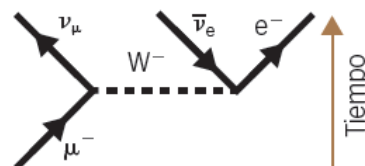
27. En 1923 el físico Arthur Compton demostró que, cuando una radiación electromagnética choca con un electrón libre, la radiación pierde parte de su energía y el electrón la gana.

- a) **Analiza las partículas que interaccionan y las partículas que tendremos finalmente.**
- b) **Analiza el tipo de interacción.**
- c) **Elabora el diagrama de Feynman que la representa.**

- a) En este proceso interviene el fotón que forma la radiación electromagnética y el electrón.
- b) Se trata de una interacción electromagnética.
- c) El diagrama de Feynman correspondiente a este proceso es el siguiente:



28. Describe la interacción que se representa en el siguiente diagrama de Feynman e identifica el tipo de interacción. Comprueba que se conserva la carga eléctrica y los números leptónico y bariónico.



Este proceso representa la conversión de un muon en un electrón. Se trata de una interacción débil puesto que aparece la partícula W^- como mediadora. El muon se convierte en una partícula W^- y un neutrino muónico. A continuación la partícula W^- produce un electrón y un antineutrino electrónico.

Conservación de la carga eléctrica:

$$q_\mu = -1$$

$$q_{\nu_\mu} + q_{\bar{\nu}_e} + q_{e^-} = 0 + 0 - 1 = -1$$

Por tanto, se conserva la carga eléctrica.

Conservación del número leptónico asociado al muon:

$$L_\mu = +1$$

$$L_{\nu_\mu} + L_{\bar{\nu}_e} + L_{e^-} = 1 + 0 + 0 = +1$$

Por tanto, se conserva el número leptónico asociado al muon.

Conservación del número leptónico asociado al electrón:

$$L_\mu = 0$$

$$L_{\nu_\mu} + L_{\bar{\nu}_e} + L_{e^-} = 0 - 1 + 1 = 0$$

Por tanto, se conserva el número leptónico asociado al electrón.

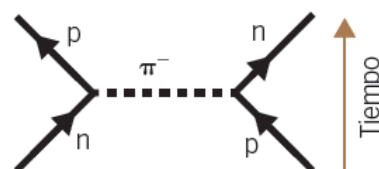
Conservación del número bariónico:

$$B_\mu = 0$$

$$B_{\nu_\mu} + B_{\bar{\nu}_e} + B_{e^-} = 0 + 0 + 0 = 0$$

Por tanto, se conserva el número bariónico.

29. Observa la interacción que se describe en el siguiente esquema:



- Identifica el tipo de interacción fundamental.
- Explica con detalle la transformación que sufren los quarks de las diferentes partículas.
- Comprueba que se conserva la carga eléctrica y los números leptónico y bariónico.

- Se trata de la interacción fuerte residual, pues un neutrón se transforma en un protón y un protón se transforma en un neutrón en el proceso, al intercambiar un pion negativo.
- Un neutrón está formado por la siguiente composición de quarks: udd. Un protón está formado por uud. Así, en este proceso un quark d del neutrón se transforma en un quark u y un quark u del protón se transforma en un quark d.

$$n \rightarrow p + \pi^-$$

$$p + \pi^- \rightarrow n$$

- Conservación de la carga eléctrica:

$$n \rightarrow p + \pi^-$$

$$0 = +1 - 1 \rightarrow 0 = 0$$

$$p + \pi^- \rightarrow n$$

$$+1 - 1 = 0 \rightarrow 0 = 0$$

Se conserva la carga eléctrica.

Conservación del número leptónico. Todas las partículas que intervienen tienen $L = 0$. Por tanto, se conserva el número leptónico.

Conservación del número bariónico. Tanto el protón como el neutrón tienen número bariónico igual a 1. El pión está formado por un quark y un antiquark. Por tanto, como el número bariónico de un quark es $1/3$ y el de un antiquark es $-1/3$, el número bariónico del pión es cero.

$$n \rightarrow p + \pi^-$$

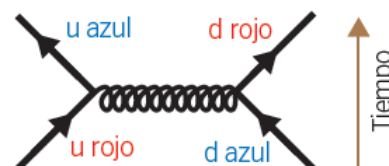
$$+1 = +1 + 0 \rightarrow 1 = 1$$

$$p + \pi^- \rightarrow n$$

$$+1 + 0 = 1 \rightarrow 1 = 1$$

Se conserva el número bariónico.

30. El esquema siguiente muestra una interacción entre dos quarks. Analízala y responde:



- ¿Cuáles son las características observadas de los quarks al inicio y al final de la interacción?
- ¿Cómo es la partícula de intercambio?
- ¿Qué tipo de interacción se manifiesta?

- Al inicio hay un quark u rojo y un quark d azul. El quark u tiene carga $+2/3$, mientras que el quark d tiene carga $-1/3$. Ambos tienen número bariónico $+1/3$ y número leptónico $= 0$.
Al final de la interacción el quark u rojo ha cambiado de color y se ha transformado en un quark u azul. El quark d azul también cambia de color y se transforma en un quark d rojo.
- La partícula de intercambio es un gluón rojo-antiazul. Se trata de una partícula sin carga eléctrica.
- Se trata de una interacción fuerte fundamental, pues aparece el gluón como partícula mediadora.

31. Busca información que te permita conocer dónde y cuándo se detectaron las distintas partículas elementales.

- Representa los datos en una línea de tiempo y analiza si el avance en los descubrimientos fue progresivo o más intenso en unas épocas o en otras. Discute las posibles razones de este hecho.
- Organiza las partículas por el lugar geográfico en el que fueron descubiertas. Relaciónalo con la capacidad económica de los mismos.
- Escribe un pequeño ensayo que relacione el avance científico con el avance económico.

Respuesta personal.

Partícula	Año de descubrimiento	Lugar
Electrón	1897	Gran Bretaña
Fotón	1915	Varios
Protón	1918	Gran Bretaña
Positrón	1932	EE. UU.
Neutrón	1932	Gran Bretaña
Muon	1937	EE. UU.
Pion	1947	Gran Bretaña
Lambda	1947	Observado en rayos cósmicos
Kaon	1947	Gran Bretaña
Delta	1951	EE. UU.
Xi	1952	Gran Bretaña
Antiprotón	1955	EE. UU.
Neutrino	1956	EE. UU.

Partícula	Año de descubrimiento	Lugar
Phi	1959	EE. UU.
Omega	1964	EE. UU.
Quark u	1967	EE. UU.
Quark d	1967	EE. UU.
Quark s	1974	EE. UU.
Quark c	1974	EE. UU.
J/Psi	1974	EE. UU.
Tau	1975	EE. UU.
Quark b	1977	EE. UU.
Upsilon	1977	EE. UU.
Gluon	1978	Alemania
Bosón $W^{+/-}$	1983	Suiza-Francia (CERN)
Bosón Z^0	1983	Suiza-Francia (CERN)
Quark t	1995	EE. UU.
Bosón de Higgs	2012	Suiza-Francia (CERN)

- Al analizar la línea temporal se observa que los descubrimientos se concentran en determinadas épocas. Esto se debe a los avances teóricos y técnicos que permiten, por ejemplo, poner en marcha un nuevo acelerador o colisionador.
- Las partículas fueron descubiertas allí donde existen los aceleradores capaces de proporcionar la mayor cantidad de energía a las partículas que colisionan. Y para montar un acelerador hace falta mucho dinero, puesto que las energías involucradas son muy altas y es necesario construir una máquina de dimensiones gigantescas, abarcando varios kilómetros en el caso de los aceleradores y colisionadores modernos.
- Respuesta personal. En la ciencia actual, donde son necesarias complejas instalaciones y la coordinación de un equipo de muchos científicos se requieren grandes presupuestos, y esto solamente está al alcance de los países que más invierten en ciencia. El CERN, por ejemplo, es un consorcio en el que intervienen muchos países aportando entre todos el elevado presupuesto necesario para desarrollar instalaciones como el LHC. Es decir, sin desarrollo económico no es posible el descubrimiento experimental de las partículas fundamentales, al menos en la época actual. Una excepción la constituyen las partículas, como el positrón, que fueron descubiertas en los rayos cósmicos, pues el universo es un enorme acelerador y es capaz de proporcionarnos partículas de elevada energía.

32. Elige alguno de los grandes laboratorios de partículas que existen en el mundo y realiza una presentación multimedia en la que expliques:

- Lugar donde está ubicado, fecha de creación y sucesivas mejoras.
- Características físicas.
- Esquema de la instalación.
- Detalle de las partes más significativas.
- Tipo de partículas que se estudian.
- Descubrimientos más importantes.

Respuesta personal.

FÍSICA EN TU VIDA

1. ¿Por qué se adjunta el adjetivo magnético al nombre de esta técnica?

Porque se emplea un campo magnético muy intenso para poder obtener las imágenes.

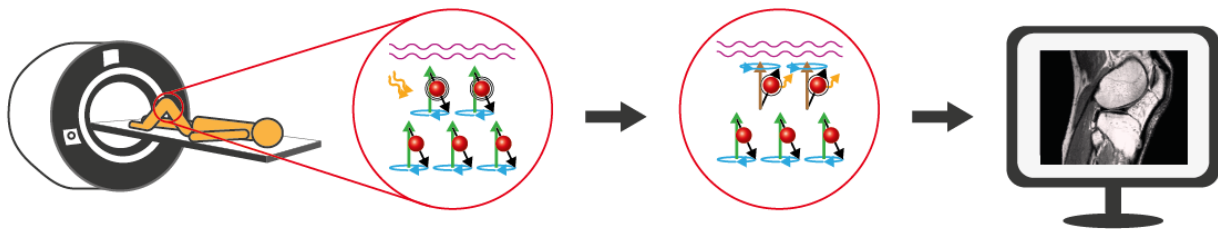
2. ¿Por qué crees que el paciente debe permanecer quieto mientras dura la exploración en una RMN? ¿Qué ocurriría si el paciente se moviese?

Para obtener una imagen lo más nítida posible.

Si el paciente se mueve, las zonas del cuerpo estudiadas se desplazan y entonces no se puede interpretar correctamente de dónde proceden los fotones detectados necesarios para formar la imagen.

3. Explica con un dibujo cómo se formaría la imagen de los ligamentos de la rodilla de un paciente.

Los átomos presentes en la rodilla del paciente reciben energía procedente del elevado campo magnético y se excitan, de modo que los fotones emitidos al caer de nuevo a su estado fundamental forman la imagen.



4. La RMN y otras técnicas médicas resultan caras. En ocasiones, los médicos prefieren pedir pruebas menos costosas, aun sabiendo que el diagnóstico no será tan fiable. ¿Qué te parece esta medida?

Respuesta personal. Es evidente que no se puede prescribir una resonancia magnética ante la menor dolencia. Por eso se emplean como primeros recursos las radiografías, realizadas con una técnica mucho menos costosa.