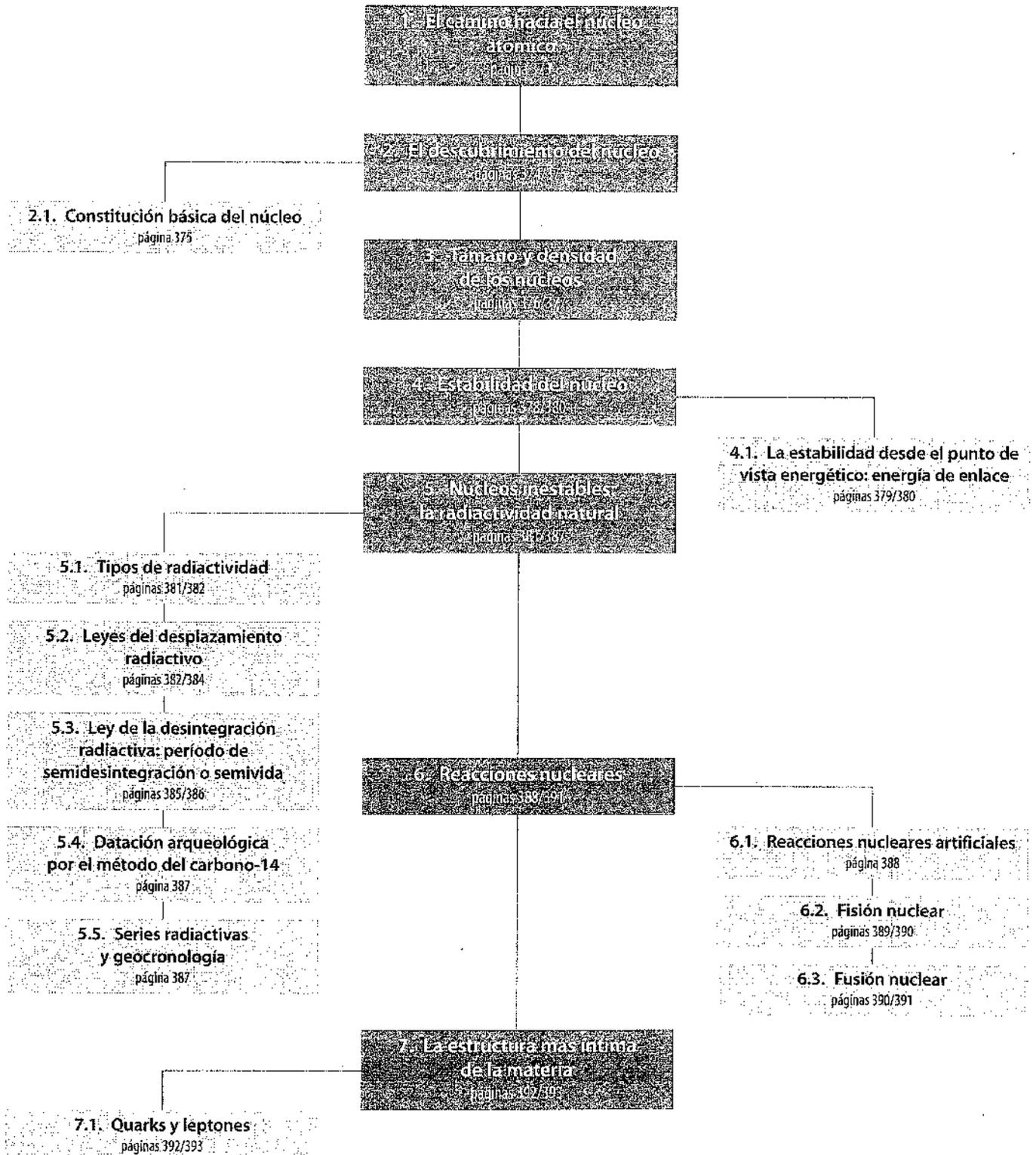


14

Física nuclear

E S Q U E M A D E L A U N I D A D



Cuestiones previas (página 372)

1. ¿Qué experimento evidenció la naturaleza nuclear del átomo? ¿Qué características tenía que tener el núcleo atómico para dar cuenta de los resultados de dicha experiencia?

El experimento fue llevado a cabo por Rutherford mediante un dispositivo que permitía medir las dispersiones de las partículas alfas que atravesaban una lámina de oro. Estableció después del experimento que toda la masa del átomo se encontraba concentrada en una zona muy pequeña y superdensa que era el núcleo. Y que los electrones giran alrededor del núcleo en ciertas órbitas en una zona mucho menos densa.

2. ¿Qué es la radiactividad? ¿Cuál es su origen y su naturaleza?

La radiactividad es un fenómeno por el cual algunas sustancias son capaces de emitir radiaciones. Estas radiaciones pueden ser de tres tipos: la radiación alfa constituida por las partículas alfas (núcleos de helio), la radiación beta que son electrones que se mueven a gran velocidad y las radiaciones gamma que son radiaciones electromagnéticas.

3. ¿Puede explicarse la estabilidad nuclear acudiendo a la ley de Coulomb?

No porque las fuerzas electrostáticas serían fuertemente repulsivas a la distancia que se encuentra los protones en el núcleo.

4. ¿Qué son las reacciones nucleares? ¿Cómo se producen?

Las reacciones nucleares consisten en modificar artificialmente los núcleos de los átomos. Se producen, en general, bombardeando núcleos con protones, neutrones o incluso con átomos de menor tamaño.

5. ¿De dónde proviene la enorme cantidad de energía que se libera en las reacciones nucleares?

Es debida al defecto de masa entre los productos y los reactivos y esta se transforma en energía.

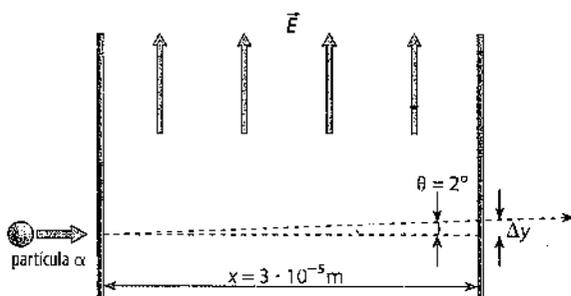
6. ¿Qué son las series radiactivas? ¿Conoces algunas aplicaciones de los isótopos radiactivos?

Son la serie de reacciones que se produce que se inicia con un núcleo inestable hasta llegar a su núcleo estable. Aplicaciones de los isótopos radiactivos puede ser la datación arqueológica, el diagnóstico y tratamiento de determinadas enfermedades, etcétera.

Actividades (páginas 373/391)

1. Deduce la expresión que permitió a Rutherford estimar el valor del campo eléctrico capaz de producir desviaciones de cierto ángulo al atravesar un espesor de mica de 30 μm. ¿De qué factores depende?

Si suponemos la existencia de un campo eléctrico uniforme transversal que actúe a lo largo del grosor de la mica, se explicaría la desviación que experimentan las partículas α:



La trayectoria seguida por el haz en el interior de la mica vendría dada por:

$$x = vt$$

$$\Delta y = \frac{1}{2} at^2$$

por lo que:

$$\Delta y = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{x^2}{v^2}$$

De la figura se deduce que:

$$\Delta y = x \operatorname{tg} \theta$$

Y como:

$$a = \frac{QE}{m}$$

entonces:

$$x \operatorname{tg} \theta = \frac{QE x^2}{2mv^2}$$

Despejando E , obtenemos:

$$E = \frac{2mv^2 \operatorname{tg} \theta}{Qx}$$

Esta es la expresión que permitió a Rutherford estimar el valor del campo transversal que tenía que actuar en el grosor de la mica. Los factores que debían conocerse, aparte de los citados, era la relación Q/m de las partículas α y su velocidad.

2. Haciendo uso de la expresión 14.3, calcula los valores aproximados de los radios nucleares de los siguientes núclidos:

a) $^{179}_{79}\text{Au}$ b) $^{16}_8\text{O}$ c) $^{239}_{92}\text{U}$

a) Para el oro ($A = 197$): $r = 1,2 \cdot A^{1/3} = 6,98 \text{ fm}$

b) Para el oxígeno ($A = 16$): $r = 3,02 \text{ fm}$

c) Para el uranio ($A = 235$): $r = 7,4 \text{ fm}$

3. ¿Por qué en los experimentos de dispersión de electrones por los núcleos los electrones deben tener un momento lineal elevado?

El momento lineal debe ser elevado porque de ese modo la longitud de onda de los electrones ($\lambda = h/p$) es muy pequeña y comparable al tamaño de los núcleos atómicos, lo que posibilita la difracción de aquellos por estos.

4. Las masas atómicas del ^7_4Be y del ^9_4Be son 7,016 930 u y 9,012 183 u, respectivamente. Determina cuál es el átomo más estable.

El defecto de masa para el ^7_4Be es:

$$\Delta m = (4 \cdot m_p + 3 \cdot m_n) - m_{\text{atómica}} = 0,038 169 \text{ u}$$

Por tanto, la energía liberada en la formación del núcleo de ^7_4Be es:

$$\Delta E = \Delta mc^2 = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 35,55 \text{ MeV}$$

Por su parte, el defecto de masa para el ^9_4Be es:

$$\Delta m = (4 \cdot m_p + 5 \cdot m_n) - m_{\text{atómica}} = 0,060 246 \text{ u}$$

y la energía liberada:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 56,12 \text{ MeV}$$

Por consiguiente, el núcleo más estable es el de número másico 9.

5. ¿Qué energía se libera por núcleo en una reacción nuclear en la que se produce un defecto de masa de 0,1 u?

Se libera una energía de:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 93,15 \text{ MeV}$$

- 6 Calcula la energía nuclear de enlace correspondiente al ${}^7_3\text{Li}$, sabiendo que su masa es de 7,01601 u.

La energía de enlace es la misma que la que resulta del defecto de masa, pues sería la que debe suministrarse para separar el núcleo en sus componentes. Por tanto:

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} \\ &= [(3 \cdot m_p + 4 \cdot m_n) - m_{\text{atómica}}] \cdot 931,5 \text{ MeV/u} \\ &= 0,0400478 \text{ u} \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 37,7 \text{ MeV}\end{aligned}$$

- 7 Calcula la energía de enlace del helio-4 a partir de los datos de tabla 14.2.

Puesto que el defecto de masa es $\Delta m = 0,0304 \text{ u}$, entonces:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 28,32 \text{ MeV}$$

- 8 **PAU** Considera los núcleos de litio Li-6 y Li-7 de masas 6,0152 u y 7,0160 u, respectivamente, siendo 3 el número atómico de estos dos isótopos. Calcula para ambos núcleos:

- a) El defecto de masa.
b) La energía de enlace.
c) La energía de enlace por nucleón.

Datos: $1 \text{ uma} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $1 \text{ uma} = 931 \text{ MeV}$;
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $m_{\text{protones}} = 1,0073 \text{ u}$;
 $m_{\text{neutrón}} = 1,0087 \text{ u}$

- a) Calculamos el defecto de masa utilizando la expresión 14.4:

$$\begin{aligned}\Delta m &= (Z_{\text{protón}} \cdot m_{\text{protón}} + (A+Z)_{\text{neutrón}} \cdot m_{\text{neutrón}}) - m_{\text{núcleo}} \\ \text{Para el } {}^6_3\text{Li su valor es:} \\ \Delta m &= (3 \cdot 1,0073 + 3 \cdot 1,0087) \text{ u} - 6,0152 \text{ u} = 0,0328 \text{ u} \\ \text{Para el } {}^7_3\text{Li:} \\ \Delta m &= (3 \cdot 1,0073 + 4 \cdot 1,0087) \text{ u} - 7,016 \text{ u} = 0,0407 \text{ u}\end{aligned}$$

- b) Para calcular la energía de enlace utilizamos el equivalente energético de $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}$:

$$\begin{aligned}\text{Para el } {}^6_3\text{Li:} \\ \Delta E &= 0,0328 \text{ u} \cdot 931 \text{ MeV/u} = 30,54 \text{ MeV} \\ \text{Para el } {}^7_3\text{Li:} \\ \Delta E &= 0,0407 \text{ u} \cdot 931 \text{ MeV/u} = 37,9 \text{ MeV}\end{aligned}$$

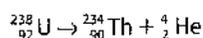
- c) La energía de enlace por nucleón se consigue dividiendo la energía de enlace por el número de nucleones.

$$\begin{aligned}\text{Para el } {}^6_3\text{Li:} \\ \frac{E_{\text{enlace}}}{\text{nucleón}} &= \frac{30,54 \text{ MeV}}{6} = 5,09 \text{ MeV} \\ \text{Para el } {}^7_3\text{Li:} \\ \frac{E_{\text{enlace}}}{\text{nucleón}} &= \frac{37,9 \text{ MeV}}{7} = 5,41 \text{ MeV}\end{aligned}$$

- 9 **PAU** Calcula la energía cinética y la velocidad de la partícula alfa emitida en la desintegración del uranio-238.

Datos: masa del U-238 = 238,050786 u; masa del Th-234 = 234,043583 u; masa de la partícula $\alpha = 4,002603 \text{ u}$

La desintegración del ${}^{238}_{92}\text{U}$ es:



Hay que tener en cuenta que:

$$p_{\alpha} = p_{\text{Th}}$$

y que la energía que se transfiere a los productos de desintegración es:

$$E_{c,\alpha} + E_{c,\text{Th}} = E = [m_{\text{U}} - (m_{\text{Th}} + m_{\alpha})] \cdot 931,5 \text{ MeV/u}$$

Como:

$$\begin{aligned}E_{c,\alpha} &= \frac{p_{\alpha}^2}{2m_{\alpha}} \\ E_{c,\text{Th}} &= \frac{p_{\text{Th}}^2}{2m_{\text{Th}}} = \frac{p_{\alpha}^2}{2m_{\text{Th}}}\end{aligned}$$

entonces:

$$E = \frac{p_{\alpha}^2}{2m_{\alpha}} \left(1 + \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} \right) = E_{c,\alpha} \left(1 + \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}} \right)$$

de donde:

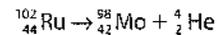
$$E_{c,\alpha} = \frac{E}{1 + \frac{m_{\alpha}}{m_{\text{Th}}}} = 4,21 \text{ MeV}$$

energía cinética que corresponde a una velocidad de:

$$v = \sqrt{\frac{2E_c}{m_{\alpha}}} = 1,42 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

- 10 ¿Tendrá lugar de modo espontáneo el decaimiento alfa del rutenio-102? Datos: masa del Ru-102 = 101,904348 u; masa del Mo-98 = 97,905405 u

No ocurrirá de modo espontáneo, pues el defecto de masa de la hipotética desintegración α es negativo:



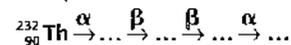
Por tanto, dicha desintegración es inviable.

- 11 **PAU** Sabiendo que la desintegración de un átomo de U-235 produce unos 200 MeV de energía, calcula la energía total liberada por cada gramo de dicho elemento.

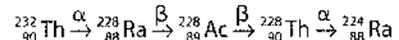
Un átomo de ${}^{235}_{92}\text{U}$ tiene $235 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 3,9 \cdot 10^{-22} \text{ g}$ de masa. Por tanto, la energía total liberada en la desintegración de 1 g de esta sustancia será de:

$$E = \frac{200 \text{ MeV}}{3,9 \cdot 10^{-22} \text{ g}} = 5,12 \cdot 10^{23} \text{ MeV/g} = 8,2 \cdot 10^{10} \text{ J/g}$$

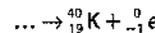
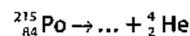
- 12 **PAU** Completa la siguiente secuencia radiactiva (la letra situada encima de cada flecha indica la partícula emitida por el núcleo de la izquierda):



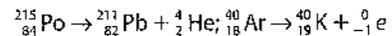
La secuencia radiactiva completa es la siguiente:



- 13 **PAU** ¿Cuál es el núclido que falta en las siguientes reacciones de desintegración?

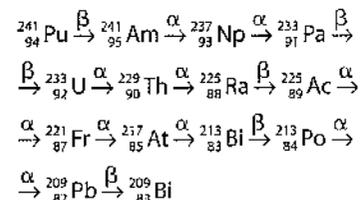


Las reacciones completas son estas:



- 14 Completa la gráfica de la figura 14.14 de la página 384 del libro de texto.

Los núcleos que completan la gráfica son:



Como se ve en el subepígrafe 5.5, esta es la serie $4n + 1$ del ${}^{241}_{94}\text{Pu}$, con respecto a la cual solo se tiene constancia de su producto final, el ${}^{209}_{83}\text{Bi}$.

- 15 Determina el número atómico y másico del isótopo que resultará del ${}^{238}_{92}\text{U}$ después de emitir tres partículas alfa y dos beta.

El isótopo tendrá $3 \cdot 4 = 12$ unidades menos de número másico y $3 \cdot 2 + 2(-1) = 4$ unidades menos del número atómico, es decir, $A = 226$, y $Z = 88$; por tanto, será:



- 16** **PAU** El período de semidesintegración de un núcleo es de 50 años. Una muestra original de 50 g contiene en la actualidad 30 g del núcleo original. Calcula la antigüedad y actividad actual de la muestra.

Aplicando la ley de la desintegración radiactiva en la forma:

$$N = N_0 2^{-t/T}$$

y teniendo en cuenta que:

$$N = \frac{30}{50} \cdot N_0 = \frac{3}{5} \cdot N_0$$

cabe concluir que:

$$\frac{3}{5} = 2^{-t/T}$$

tomando logaritmos queda:

$$\ln \frac{3}{5} = -\frac{t}{T} \ln 2$$

de donde:

$$t = 36,79 \text{ años}$$

Luego, la antigüedad de la muestra es de 36,79 años. Su actividad actual será 3/5 de la inicial (λN_0).

- 17** **PAU** El cobalto 60 (^{60}Co) se utiliza frecuentemente como fuente radiactiva en medicina. Su período de semidesintegración es 5,25 años determinar cuánto tiempo, después de entregada una muestra nueva a un hospital habrá disminuido su actividad a una octava parte del valor original. Hallamos la constante radiactiva mediante la expresión:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{5,25} = 0,132 \text{ años}^{-1}$$

Y como la actividad tiene que disminuir a la octava parte de su valor inicial ($N = 1/8 N_0$), sustituimos en la expresión:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{8} N_0 = N_0 \cdot e^{-0,132t} \Rightarrow 0,125 = e^{-0,132t}$$

Y tomando logaritmos neperianos obtenemos:

$$\ln 0,125 = -0,132t$$

despejando:

$$t = 15,75 \text{ años}$$

- 18** **PAU** La actividad de una muestra que contiene carbono 14, ^{14}C es de $5 \cdot 10^7$ Bq.

a) Halla el número de núcleos de ^{14}C en la muestra.

b) Calcula la actividad de la muestra dentro de 11 460 años.

a) Primero expresamos el período de semidesintegración en segundos:

$$T_{1/2} = 5730 \text{ años} \cdot 365,25 \text{ días/año} \cdot 24 \text{ h/día} \cdot 3600 \text{ s/h} = 1,8 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

La constante radiactiva se calcula mediante la expresión:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{1,8 \cdot 10^{11} \text{ s}} = 3,9 \cdot 10^{-12} \text{ s}^{-1}$$

Como la actividad de la muestra es $5 \cdot 10^7$ Bq = λN , despejando N :

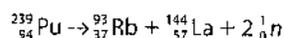
$$N = \frac{5 \cdot 10^7}{3,9 \cdot 10^{-12}} = 1,28 \cdot 10^{19} \text{ núcleos de } ^{14}\text{C}$$

b) Ya que 11 460 años son dos períodos del ^{14}C . Utilizando la expresión 14.12 tenemos que:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = 5 \cdot 10^7 \text{ Bq} \cdot e^{-\frac{0,693}{5730 \text{ años}} \cdot 11460 \text{ años}} = 1,25 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

- 19** La fisión de un núcleo de plutonio-239 produce rubidio-93 y lantano-144. Escribe la reacción completa.

La reacción completa es:



- 20** Calcula cuánta masa pierde el Sol cada segundo en forma de energía liberada. Compárala con su masa estimada (aproximadamente $2 \cdot 10^{30}$ Kg). ¿Cuánto tardaría el Sol en perder una millonésima parte de su masa?

Teniendo en cuenta que la energía irradiada por el Sol es de $3,8 \cdot 10^{26}$ J/s, la pérdida de masa por segundo será:

$$\Delta m = \frac{E}{c^2} = 4,22 \cdot 10^9 \text{ kg}$$

Esto, comparado con la masa solar, supone:

$$\frac{\Delta m}{m_s} = 2,1 \cdot 10^{-21}$$

Es decir, constituye una fracción insignificante. A ese ritmo, el tiempo que tardaría el Sol en perder una millonésima parte de su masa sería:

$$\frac{10^{-6}}{2,1 \cdot 10^{-21}} \cdot 1 \text{ s} = 4,76 \cdot 10^{14} \text{ s} \cong 15 \text{ millones de años}$$

Cuestiones y problemas (páginas 396/397)

Guía de repaso

- 1** ¿Quién descubrió la radiactividad? ¿Cómo lo hizo?

Lo descubrió Antoine Henri Becquerel que investigaba la posibilidad de producir radiaciones similares a los rayos X en sales de uranio que presentaban el fenómeno de la fosforescencia.

- 2** ¿Cuántos tipos de radiactividad hay? ¿Cómo pueden diferenciarse? ¿Qué poder de penetración tienen?

Existen tres tipos: radiaciones alfa, beta y gamma. Se distinguen por su distinto poder de penetración y peligrosidad.

Las radiaciones gamma son las de mayor poder de penetración seguidas de las beta y las alfa.

- 3** ¿Qué llevó a Rutherford a investigar la dispersión de las partículas alfa?

El fenómeno de dispersión de los rayos alfa al atravesar una lámina de mica.

- 4** ¿Qué hecho peculiar condujo a la consideración de la existencia del núcleo?

Mediante el detector-contador descubrió que había partículas alfa que rebotaban.

- 5** Detalla el procedimiento usado por Rutherford para determinar de un modo aproximado el tamaño de los núcleos.

A partir de sus experimentos de dispersión de partículas alfa, Rutherford calculó, de un modo aproximado, cuál podría ser el tamaño del núcleo. Las partículas que salían rebotadas tenían que haber colisionado frontalmente contra el núcleo; sin embargo, este choque no implicaba contacto físico entre núcleo y partícula, sino que el rebote se debía a la intensa repulsión coulombiana que existía entre ambos. Mediante consideraciones energéticas llegó a una expresión matemática de la distancia de máxima aproximación entre el núcleo y la partícula alfa debe ser ligeramente mayor que el radio nuclear.

- 6** ¿Cuál es el tamaño relativo que tiene un núcleo con respecto al átomo?

Del orden de 10^{-10} m.

- 7** ¿Qué hecho parece demostrar que los núcleos tienen bordes difusos?

Empleando técnicas de dispersión de electrones de elevado momento lineal se observó que la intensidad de los mínimos que se producen no es nula.

8 ¿Cuál es la fórmula empírica que relaciona el radio de los núcleos con el número másico?

La siguiente expresión:

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

9 Demuestra que la densidad de los núcleos es constante y determina su valor.

Véase el procedimiento de la página 377, en el que partiendo de la fórmula de la densidad y considerando la expresión que relaciona el radio con el número másico se llega a que:

$$\rho = 2,4 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$$

10 ¿Cómo es posible que los protones puedan coexistir en un espacio tan reducido como el núcleo?

Debido a que las fuerzas nucleares son atractivas, de gran intensidad y de muy corto alcance.

11 ¿Qué hecho hace suponer que las fuerzas nucleares son de corto alcance?

El corto alcance de estas fuerzas se debe al hecho de que la densidad nuclear es constante, lo que supone que cada nucleón solo interactúa con los vecinos.

12 ¿Muestran dependencia de la carga eléctrica las fuerzas nucleares?

No, las fuerzas nucleares no dependen de la carga eléctrica.

13 ¿Cuándo puede afirmarse que un núcleo es estable?

El defecto de masa.

14 ¿A qué se denomina defecto de masa?

El defecto de masa es la variación de la masa de los nucleones (protones y neutrones) y la masa de los núcleos.

15 ¿Qué parámetro sirve para comparar las estabilidades relativas de los diversos núclidos? ¿Cómo se define?

El parámetro es la energía de enlace que corresponde a cada nucleón y viene determinada por la expresión:

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

16 ¿Cuál es el equivalente energético de 1 u? Cálculalo.

El equivalente energético de 1 u es de 931,5 MeV. Se calcula mediante la expresión $\Delta E = mc^2$:

$$\Delta E = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 931,5 \text{ MeV}$$

17 ¿Qué núcleos son los más estables? ¿Qué hechos experimentales lo avalan?

Los núcleos medianos.

18 ¿Por qué aumenta el número de neutrones por encima del de protones a medida que se incrementa el número atómico de un núcleo?

A medida que aumenta el número de protones, la creciente repulsión exige un número cada vez mayor de neutrones presentes.

19 ¿A partir de qué número atómico resultan inestables los núcleos?

A partir del número atómico 83 que corresponde el bismuto.

20 ¿En qué consiste el decaimiento alfa? ¿Y el beta?

El decaimiento alfa es cuando un núcleo radiactivo emite una partícula alfa, este se transforma en otro cuyo número atómico es dos unidades menor y cuya masa es aproximadamente cuatro unidades menor. El decaimiento beta es cuando un núcleo radiactivo emite un electrón beta, este se transforma en otro cuyo número atómico es una unidad mayor y cuya masa es prácticamente igual.

21 ¿Cómo podemos saber si un núclido puede sufrir un decaimiento alfa?

Si aplicamos la expresión 14.8 y nos sale positiva, habría transferencia cinética a las partículas finales, con lo cual conllevará a un decaimiento alfa.

22 Enuncia y representa las leyes del desplazamiento radiactivo.

Las leyes de desplazamiento radiactivo se enuncian:

- Cuando un núcleo radiactivo emite una partícula alfa, el elemento resultante se desplaza dos lugares a la izquierda en el sistema periódico, es decir, se transforma en otro cuyo número atómico es dos unidades menor y cuya masa es aproximadamente cuatro unidades menor.
- 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 cuya masa es prácticamente igual.
- Cuando un núcleo radiactivo excitado emite radiación gamma, se desexcita energéticamente, pero no sufre transmutación alguna.

23 ¿Son emitidas con igual velocidad las partículas alfa y beta?

No, las beta tienen mayor velocidad que las alfa.

24 ¿Existen realmente electrones en el núcleo?

No existen electrones en el núcleo.

25 ¿Cómo varía con el tiempo la actividad de una sustancia radiactiva?

A través de la ley de la desintegración radiactiva (expresión 14.10) vemos que su variación es exponencial y negativa.

26 ¿Qué es el período de semidesintegración? ¿Coincide con la vida media?

El período de semidesintegración es el tiempo que tarda en desintegrarse la mitad de los núcleos iniciales. Es el mismo concepto que la vida media.

27 ¿Cuál es la ley de la desintegración radiactiva? Escríbela también en función de la constante de desintegración radiactiva.

La ley de desintegración radiactiva nos relaciona el número de núcleos que quedan sin desintegrar con el tiempo.

En función de la constante de desintegración radiactiva, λ , es:

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

28 ¿En qué consiste el método de datación arqueológica del carbono-14?

Consiste en medir la proporción residual de C-14 en la muestra y teniendo en cuenta que su período de semidesintegración es de 5730 años, poder determinar la antigüedad de un resto arqueológico.

29 ¿Qué son las series radiactivas? ¿Cuántas series se conocen? ¿Qué particularidad tienen todos los núclidos de una serie?

Las series o familias radiactivas son la serie de elementos que mediante desintegraciones alfa y beta a partir de un elemento radiactivo. Se conocen cuatro series radiactivas: torio-232, plutonio-241, uranio-238 y uranio-235.

Los núclidos de cada serie tienen sus números másicos proporcionales a un número.

30 ¿Qué procedimiento se usa para la cronología geológica?

En la aplicación de la ley de desintegración radiactiva a rocas y minerales.



31 ¿Qué es una reacción nuclear?

Las reacciones nucleares consisten en modificar artificialmente los núcleos de los átomos bombardeando núcleos con protones, neutrones o incluso con átomos de menor tamaño.

32 ¿Cómo se descubrió el protón? ¿Y el neutrón?

El protón se descubrió mediante una reacción nuclear que consistía en bombardear núcleos de nitrógeno con partículas alfa, liberando núcleos de hidrógenos o protones. Y los neutrones, bombardeando núcleos de berilio con partículas alfa.

33 ¿Qué puede ocurrir cuando un núcleo captura un neutrón lento?

Puede producir cuatro procesos distintos: radiaciones gamma, emitir partículas alfa, emitir un protón y la fisión nuclear.

34 ¿Qué es la fisión nuclear? ¿Cómo se produce?

La fisión nuclear consiste en fragmentar un núcleo desestabilizado en dos núcleos más pequeños. Cuando el núcleo absorbe un neutrón, se excita y se deforma. Debido que las fuerzas de repulsión son mayores que las de atracción se va separando hasta dividirse el núcleo en dos partes iguales.

35 ¿Qué hay que hacer para mantener controlada una reacción de fisión en cadena? ¿Qué pasa si se descontrola?

Utilizando grafito para moderar la velocidad de los neutrones y barras de cadmio para absorberlos.

Si la reacción no se controla se libera energía de forma explosiva.

36 ¿Qué es la masa crítica?

Es cuando el número de neutrones producidos es igual al número de neutrones que se escapan; a partir de aquí se descontrola la cadena.

37 ¿Qué es la fusión nuclear? ¿Qué proceso tiene lugar en el Sol? Escribe las reacciones que pueden producirse en él.

La fusión nuclear es cuando núcleos pequeños se unen para formar núcleos mayores.

En el Sol se produce la fusión del hidrógeno cuyas reacciones están descritas en la página 390 del *Libro del alumno*.

38 ¿De dónde proviene la enorme cantidad de energía liberada en los procesos de fisión y de fusión?

Es debida al defecto de masa entre los productos y los reactivos y al ser menor la masa de los productos, esta se transforma en energía.

39 ¿Cuáles son los constituyentes básicos de la materia según las teorías modernas?

Los quarks y los leptones.

40 ¿Qué partículas están constituidas por quarks?

Los quarks están constituidos por: **u** (up, «arriba»), **d** (down, «abajo»), **s** (strange, «extraño»), **c** (charm, «encanto»), **b** (bottom, «fondo») y **t** (top, «cima»).

41 ¿En qué se diferencian los bariones y los mesones?

Los bariones están constituidos por tres quarks y los mesones por un quark y un antiquark.

42 ¿Qué propiedades se asigna a los quarks?

Se le asigna una tercera propiedad adicional a la carga y al espín; el color.

43 ¿Qué leptones forman parte de la materia ordinaria?

Solamente el electrón y su correspondiente neutrino.

El núcleo atómico y estabilidad

44 **PAU** Determina qué isótopo debemos usar como blanco para formar Na-24 si se emplean:

- a) Protones.
 - b) Neutrones.
 - c) Partículas alfa.
- a) Ne-23.
 - b) Na-23.
 - c) F-20.

En todos los casos hemos supuesto que la reacción es de captura.

45 **PAU** Determina el radio nuclear y el volumen de una partícula alfa. A partir de los datos obtenidos, determina el volumen de un nucleón.

El número másico de la partícula α es 4, por lo que:

$$r \cong 1,2 \cdot A^{1/3} \text{ fm} = 1,9 \text{ fm}$$

Suponiendo que la partícula α es esférica, su volumen será:

$$V = 4/3 \pi r^3 = 2,8 \cdot 10^{-44} \text{ m}^3$$

Puesto que consta de 4 nucleones, el volumen de un nucleón será:

$$V_{\text{nucleón}} = 7 \cdot 10^{-45} \text{ m}^3$$

46 **PAU** Calcula la energía de enlace del deuterón si su masa es de 2,014 102 u.

El deuterón se compone de un protón y un neutrón, por lo que su energía de enlace, igual a la liberada en el proceso de constitución, será:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = [(m_p + m_n) - m] \cdot 931,5 \text{ MeV}$$

Por tanto:

$$E = 1,713 \text{ MeV}$$

47 **PAU** Calcula la energía de ligadura por nucleón del Ne-20 y del Ca-40. Datos: masa atómica del Ne-20 = 19,992 440 u; masa atómica del Ca-40 = 39,962 591 u

El $^{20}_{10}\text{Ne}$ tiene 10 protones y 10 neutrones. Su energía de enlace es:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 155,53 \text{ MeV}$$

Por tanto, la energía de enlace por nucleón será:

$$\frac{E_{\text{enlace}}}{\text{nucleón}} = \frac{155,53 \text{ MeV}}{20} = 7,77 \text{ MeV}$$

En el caso del $^{40}_{20}\text{Ca}$, con 20 protones y 20 neutrones, la energía de enlace es:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 331,83 \text{ MeV}$$

Así, la energía de enlace por nucleón será:

$$\frac{E_{\text{enlace}}}{\text{nucleón}} = \frac{331,83 \text{ MeV}}{40} = 8,29 \text{ MeV}$$

48 **PAU** La masa atómica del plomo-208 es 207,976 6 u.

- a) ¿Qué energía se desprende en la formación del núcleo?
- b) ¿Cuál es la energía de enlace por nucleón correspondiente a este núclido?

El $^{208}_{82}\text{Pb}$ consta de 126 neutrones y 82 protones. Por tanto:

- a) La energía que se desprende en la formación del núcleo es:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 1 594,56 \text{ MeV}$$

- b) La energía de enlace por nucleón es:

$$\frac{E_{\text{enlace}}}{\text{nucleón}} = \frac{1 594,56 \text{ MeV}}{208} = 7,66 \text{ MeV}$$

Radiactividad y desplazamiento radiactivo

49 ¿Podría ocurrir que un mismo núcleo emitiera a la vez radiación alfa y beta? ¿Y alfa y gamma?

Evidentemente, un núcleo se transforma en otro de distinta naturaleza después de emitir una partícula alfa, por lo que nunca puede darse el caso de que el mismo núcleo emita radiación alfa y beta a la vez. Sí puede ocurrir esto en procesos independientes, es decir, en distintas series, como ocurre en el caso del Bi-214, que emite radiación alfa en una serie y beta en la otra. Por el mismo motivo, un núcleo tampoco puede emitir simultáneamente radiación alfa y gamma; la emisión gamma es consecuencia del proceso de estabilización del núcleo resultante, pero no del emisor. En este último caso, el proceso inverso sí es posible y, de hecho, frecuente.

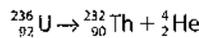
50 ¿Qué diferencia existe entre un proceso radiactivo y uno químico?

En un proceso radiactivo se modifica la naturaleza del núcleo, mientras que en uno químico no.

Defi **PAU** Halla la energía cinética y la velocidad de la partícula alfa emitida en el decaimiento alfa del uranio-236.

Datos: masa atómica del U-236 = 236,045 563 u; masa atómica del Th-232 = 232,038 054 u; masa de la partícula alfa = 4,002 603 u

El decaimiento alfa del U-236 es:



Procediendo como se expone en la aplicación de la página 383, obtenemos:

$$E_{c\alpha} = \frac{E}{1 + \frac{m_\alpha}{m_{\text{Th}}}}$$

La energía transferida a los productos de la desintegración es:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 4,57 \text{ MeV} = 7,31 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Por tanto:

$$E_{c\alpha} = 4,49 \text{ MeV} = 7,18 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Así pues, su velocidad será:

$$v = \sqrt{\frac{2E_{c\alpha}}{m_\alpha}} = 1,48 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

Desintegración radiactiva

52 ¿Por qué no puede utilizarse la prueba del C-14 para averiguar la edad de rocas o minerales?

No puede utilizarse la prueba del C-14 en este caso porque solo es válida para restos de seres vivos, durante la existencia de los cuales se ha producido un intercambio de materia con el medio.

53 ¿Por qué no sufre variaciones la actividad de una sustancia aunque se encuentre en disolución o combinada con otras?

La combinación química o la disolución son procesos químicos en los que solo intervienen los electrones de las capas más externas, por lo que ni los núcleos ni su actividad resultan afectados.

54 El número atómico de un núclido ha disminuido dos unidades, y su número másico, ocho unidades; por consiguiente, el núclido ha sufrido:

- a) Dos desintegraciones alfa y una beta.
- b) Tres desintegraciones beta y una alfa.

Ninguna de las dos respuestas es correcta. Ha sufrido dos desintegraciones alfa y dos beta.

55 Una sustancia tiene un período de semidesintegración de 5 minutos. De aquí puede deducirse que, al aislar 100 átomos de la muestra:

- a) Quedan 50 átomos al cabo de 5 minutos.
- b) Pueden quedar los 100, un número indeterminado o ninguno.

La respuesta correcta es la **b)**. Como todo concepto estadístico, el período de semidesintegración solo es válido considerando un número muy grande de núcleos. Es obvio que 100 átomos no lo es.

56 **PAU** Una muestra de cierta sustancia radiactiva sufre 10 200 desintegraciones por segundo en su instante inicial. Al cabo de 10 días, presenta una tasa de 510 desintegraciones por segundo.

- a) ¿Cuál es su período de semidesintegración?
- b) ¿Y su vida media?

a) La muestra disponible, al cabo de 10 días se ha reducido a 1/20 de la muestra inicial, por lo que:

$$N = N_0 2^{-t/T} \Rightarrow \frac{1}{20} N_0 = N_0 2^{-t/T}$$

Despejando T , obtenemos:

$$T = 2,314 \text{ días}$$

b) Puesto que la vida media se define como:

$$\tau = \frac{T}{\ln 2}$$

entonces:

$$\tau = 3,338 \text{ días}$$

57 **PAU** La semivida del yodo-131 es 8,04 días. Calcula:

- a) Su constante de decaimiento.
 - b) Su vida media.
 - c) El porcentaje de muestra inicial que queda al cabo de 1 mes.
- a) Su constante de decaimiento λ será:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 0,086 \text{ días}^{-1}$$

b) Su vida media es:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 11,60 \text{ días} = 1,003 \cdot 10^6 \text{ s}$$

c) Puesto que:

$$N = N_0 2^{-t/T}$$

sustituyendo t (30 días) y T (8,04 días), obtenemos:

$$N = 0,075 \cdot N_0$$

Por tanto, queda un 7,5 % de la muestra inicial.

58 La actividad radiactiva de una madera antigua es cuatro veces menor que la de otra madera de la misma clase y con igual masa. ¿Qué edad tiene la madera analizada?

Dato: semivida del C-14 = 5 730 años

La muestra actual es 1/4 de la inicial. Por tanto:

$$N = N_0 2^{-t/T} \Rightarrow \frac{1}{4} N_0 = N_0 2^{-t/T}$$

Operando para despejar t , y teniendo en cuenta que $T = 5 730$ años, obtenemos:

$$t = 11 460 \text{ años}$$

59 **PAU** Una muestra radiactiva contenía 10^9 núcleos radiactivos hace 40 días y en la actualidad posee 10^8 . Calcula:

- a) La constante de desintegración.
- b) La vida media.
- c) La actividad de la muestra al cabo de una semana.

a) La muestra actual es 1/10 de la inicial.

Operando como en el ejercicio anterior, obtenemos:

$$T = 12,04 \text{ días}$$

Por tanto:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 0,05756 \text{ días}^{-1} = 6,66 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

b) Su vida media es:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ s} = 17,34 \text{ días}$$

c) La actividad al cabo de una semana vendrá dada por λN , donde N es el número de núcleos sin desintegrar, y se obtiene de la expresión:

$$N = N_0 2^{-t/T}$$

Considerando $N_0 = 10^9$ núclidos, $t = 7$ días, y $T = 12,04$ días, entonces:

$$N = 6,68 \cdot 10^8 \text{ núclidos}$$

En consecuencia, la actividad de la muestra al cabo de una semana es:

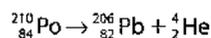
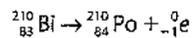
$$\text{actividad} = \lambda N = 6,66 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1} \cdot 6,68 \cdot 10^8 = 445 \text{ Bq}$$

60 PAU El bismuto-210 ($Z = 83$) emite una partícula beta y se transforma en polonio; este, a su vez, emite una partícula alfa y se transforma en un isótopo del plomo.

a) Escribe las reacciones de desintegración.

b) Si la semivida del bismuto-210 es de 5 días, ¿cuántos núcleos se han desintegrado en 10 días si inicialmente se tenía 1 mol de átomos de este elemento?

a) Las reacciones son, respectivamente, las siguientes:



b) Si $N_0 = 6,022 \cdot 10^{23}$ núcleos/mol, al cabo de 10 días quedan sin desintegrar:

$$N = N_0 2^{-t/T} = N_0 2^{-10/5} = 0,25 \cdot N_0$$

Por tanto, se ha desintegrado el 75 % de los núcleos, es decir:

$$0,75 \cdot N_0 = 4,516 \cdot 10^{23} \text{ núcleos}$$

61 PAU Una muestra contiene 10^{20} núcleos radiactivos con un período de semidesintegración de 27 días. Halla:

a) La constante de desintegración.

b) El número de núcleos radiactivos al cabo de un año.

c) La actividad de la muestra al cabo de un año.

a) La constante de semidesintegración es:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 2,96 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

b) Al cabo de 1 año (365 días):

$$N = N_0 2^{-t/T} = 8,52 \cdot 10^{15} \text{ núcleos}$$

c) Por tanto, la actividad de la muestra al cabo de un año es:

$$\lambda N = 2,52 \cdot 10^9 \text{ Bq}$$

62 ¿Qué masa de yodo-131, cuyo período de semidesintegración es de 8 días, quedará a los 15 días si se partió de una muestra inicial que contenía 200 g de dicho isótopo?

Si se parte de la expresión:

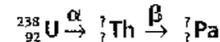
$$N = N_0 2^{-t/T}$$

y sustituyendo t (15 días) y T (8 días), se obtiene:

$$N = 0,2726 \cdot N_0$$

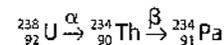
Por tanto, quedará una muestra de 54,52 g sin desintegrar al cabo de 15 días.

63 PAU Los dos primeros pasos de la cadena de desintegración del ${}_{92}^{238}\text{U}$ son:



Completa las correspondientes ecuaciones de desintegración e indica el número másico y atómico de los núcleos que se obtienen durante y al final del proceso.

La ecuación de desintegración completa es:



Así, para el Th, $Z = 90$, y $A = 234$; y para el Pa, $Z = 91$, y $A = 234$.

Reacciones nucleares

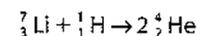
64 PAU Cuando se bombardea con un protón un núcleo de ${}_{3}^7\text{Li}$ este se descompone en dos partículas alfa.

a) Escribe y ajusta la reacción nuclear del proceso.

b) Calcula la energía liberada en dicha desintegración.

Datos: masa atómica del litio = 7,01601 u; masa atómica del hidrógeno = 1,007276 u; masa atómica del helio = 4,002603 u

a) La reacción del proceso es:



b) La energía liberada procede del defecto de masa:

$$\Delta m = [(m_{\text{Li}} + m_{\text{H}}) - 2m_{\text{He}}] = 0,01808 \text{ u}$$

Por tanto:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ MeV/u} = 16,88 \text{ MeV}$$

Partículas elementales

65 A partir de la información dada en el texto, deduce qué tríos de quarks formarán los protones y los neutrones.

Puesto que la materia ordinaria está formada por los quarks u y d , y dado que la carga del protón es +1 y la del neutrón es cero, entonces, los tríos de quarks que los compondrán serán u, u, d , para el caso del protón (los u son de distinto color), y u, d, d , para el del neutrón (los d son ahora de distinto color).

66 Teniendo en cuenta que los mesones π están formados por los sabores u y d , ¿cuáles serán los pares quark-antiquark constituyentes del mesón π^+ , del mesón π^- y del mesón π^0 neutro?

El mesón π^+ estará constituido por u, \bar{d} (antiquark d); el mesón π^- , por \bar{u}, d ; y π^0 , por u, \bar{u} , o por d, \bar{d} .