

## **TEMA 7: INTRODUCCIÓN A LA FÍSICA MODERNA**

### **I. ORIENTACIONES METODOLÓGICAS**

En estos temas es imposible introducir, a nivel escolar, experiencias que desarrollen el epítome y los ítems que aparecen el apartado de conocimientos previos podrían servir para suscitar preguntas en los alumnos a modo de introducción en la forma “relativística” de pensar.

### **II. COMPROBACIÓN DE CONOCIMIENTOS PREVIOS**

#### **b)Conocimientos procedentes de las construcciones espontáneas:**

##### **1. Solución a los ítems sobre preconcepciones que aparecen en el libro.**

###### **Unidad 11: Física relativista**

Item 1: se pretende introducir a los alumnos en una forma distinta de pensar y llamarles la atención de que lo que, en principio, puede resultar una forma “intuitiva” de razonar, la mecánica relativista lo pone en cuestión. Sin necesidad de plantearle ya mismo la fórmula, nos estamos refiriendo a la composición de velocidades.

Item 2:nos referimos a la “contracción de longitudes” (sin abordar de ninguna manera la fórmula).

Item 3: nos referimos a la “dilatación del tiempo”.

Item 4: se hace referencia a la relatividad de la simultaneidad de dos sucesos.

###### **Unidad 12: Física cuántica.**

Item 1: la solución correcta es la **c**

###### **Unidad 13: Física nuclear y de partículas.**

Ítem 1:

- a) Falsa.
- b) Falsa
- c) Falsa.
- d) Verdadera.

Ítem 2: la solución correcta es b. El objetivo de este ítem es determinar las ideas sobre características de los gases en distintas situaciones.

Ítem 3: la solución correcta es c. El objetivo de este ítem es investigar la aceptación por parte de los alumnos de la discontinuidad de la materia

##### **2. Otros ítems diferentes de los que se dispone de resultados obtenidos en nuestras investigaciones.**

En cuanto a los ítems de Física moderna pretenden tratar las ideas básicas de esta rama de la Física: Concepción corpuscular de la materia, comprensión de la idea de vacío, dilatación de un gas, difusión de líquidos y conservación de la masa. La persistencia de preconcepciones erróneas en los alumnos en esta rama de la Física, ha sido probada por (Camaño, A. y col.

1983; De Posada, J.M. 1993; Fernández, J.M. y col. 1988; Gentil, C. y col 1989; Jones, D.G.C. 1991; Llorens, J.A. 1988) entre otros.

Estos trabajos indican que es frecuente:

- Interpretar la materia como *algo* continuo
- Atribuir propiedades macroscópicas a las partículas
- Considerar que el calor aumenta el tamaño de las partículas
- Suponer que al disolver un cuerpo sólido la sustancia desaparece, por lo que el peso de una disolución es menor
- Confundir el proceso físico de disolución con reacción química
- Considerar que la materia en estado gaseoso pesa menos que en estado sólido
- Suponer que no se conserva la masa en procesos de disolución y de combustión

### III. SOLUCIÓN DE PROBLEMAS PROPUESTOS QUE APARECEN EN EL LIBRO

#### Página 251. Cuestión

Sean dos hermanos gemelos, uno permanece en la Tierra y el otro es enviado al espacio en una nave con una velocidad de  $0,8c$  ¿Cuántos años envejecerá el gemelo de la nave si para el de la tierra han pasado 10 años?

*Sol.:  $\Delta t = 16,6$  años*

#### Página 251. Cuestión

Determina la velocidad relativa de una varilla, que se mueve paralelamente a su longitud, que tiene una longitud medida igual a la mitad de su longitud en reposo.

*Sol.:  $v = 0,7c$*

#### Página 253. Actividad 1

Completa con verdadero o falso:

a) Dos observadores que se mueven uno respecto del otro con velocidad constante son inerciales.

*Sol.: Cierto, por definición dos observadores son inerciales si se mueven uno respecto del otro con velocidad constante, es decir, sin aceleración.*

b) La velocidad de una partícula es la misma para dos SRI.

*Sol.: Falso, la velocidad de una partícula en dos SRI nunca es la misma.*

*Para simplificar, supongamos que los dos SRI, se mueve uno respecto del otro según el eje  $x$ , con velocidad constante y coincidiendo los orígenes de coordenadas en el instante  $t=0$ . En cinemática no relativista, las posiciones de una partícula en ambos sistemas están relacionadas mediante las transformaciones de Galileo y serán:*

*$x' = x - V \cdot t$ ,  $y' = y$ ,  $z' = z$ ,  $t' = t$ . La relación entre las velocidades vendrá dada por las derivadas de las coordenadas espaciales respecto del tiempo, obteniéndose  $v' = v - V$ , en consecuencia  $v'$  y  $v$  nunca pueden coincidir.*

En cinemática relativista tendremos que utilizar las transformaciones de Lorentz, y la relación entre las velocidades de la partícula en los sistemas  $O'$  y  $O$  viene dada por:

$$v' = \frac{v - V}{1 - \frac{vV}{c^2}}$$

Las velocidades  $v$  y  $v'$  no pueden coincidir a no ser que la velocidad de la

partícula sea la de la luz.

c) La aceleración de una partícula es la misma en todos los SRI.

Sol.: Cierto, la contestación a esta cuestión la realizaremos en el marco de la cinemática no relativista.

Hemos visto que las velocidades en dos sistemas de referencias inerciales vienen relacionadas por la expresión:  $\vec{v}' = \vec{v} - \vec{V}$ . Derivando obtendremos la relación entre las aceleraciones  $\vec{a}' = \vec{a}$  ya que la derivada de  $V$  es nula por ser  $V$  constante. Efectivamente la aceleración en los dos SRI es la misma.

d) Las fuerzas que actúan sobre una partícula, debida a su interacción con otras partículas son las mismas para dos SRI.

Sol.: Verdadero También en este caso nos limitaremos a responder en el marco de la dinámica no relativista.

De la cuestión anterior tenemos que  $\vec{a}' = \vec{a}$  esto implica que, ya que la masa de la partícula es la misma en todos los sistemas de referencias inerciales.

Aplicando la segunda ley de Newton en los sistemas  $O'$  y  $O$  tendremos  $\sum \vec{F}' = m\vec{a}'$  y  $\sum \vec{F} = m\vec{a}$  como los segundos miembro de estas dos expresiones son iguales también tienen que serlo los primeros.

e) Si una barra se mueve con respecto a un sistema de referencia inercial, la longitud medida por éste es siempre menor que la longitud propia de la barra.

Sol.: Verdadero Esta afirmación puede ser cierta o falsa. Si la orientación de la barra es perpendicular a la dirección del movimiento, no sufre ninguna contracción y en este caso su longitud será igual a la longitud propia (la medida en el sistema de referencia para el cual la barra está en reposo). En los demás casos la afirmación es correcta, ya que la barra se contrae en la dirección del movimiento. Cuando la barra está orientada en la dirección del movimiento se cumple:  $l = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$  donde  $l_0$  es la longitud propia,  $l$  la longitud medida en el sistema de referencia para el cual la barra se mueve y como  $\sqrt{1 - \beta^2} < 1 \Rightarrow l < l_0$

f) La contracción de la longitud de una barra solo depende de la velocidad con que se mueva la barra.

Sol.: Según se desprende la cuestión anterior la contracción de la barra no solo depende de la velocidad con que se mueva, sino de su orientación respecto de la dirección del movimiento.

g) Dos sucesos que se producen en el mismo punto, pero en distinto momento para un determinado observador; pueden ser simultáneos para otro observador inercial.

Sol.: Falso. Para simplificar consideremos que la dirección de movimiento de los sistemas coincide con el eje  $x$ . Para un observador  $O$  los sucesos vendrán determinados por  $(x, t_1)$  y  $(x, t_2)$ . Los instantes en que se producen estos sucesos para un observador  $O'$ , de acuerdo con

las transformadas de Lorentz, serán:  $t_1' = \frac{t_1 - x \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  y  $t_2' = \frac{t_2 - x \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  El intervalo de tiempo

transcurrido entre los dos sucesos en  $O'$  será:  $t_2' - t_1' = \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  Para que los sucesos

fueran simultáneos es necesario que  $t_2' - t_1' = 0$ , para lo cual se necesita que  $t_2 - t_1 = 0$ . Condición que no se cumple ya que los sucesos no son simultáneos en  $O$ .

h) Dos sucesos que se producen en puntos distintos y no son simultáneos para un observador pueden serlo para otro observador inercial.

Sol.: Cierto pero no en todos los casos, como en la cuestión anterior los sucesos en  $O$  vendrán determinados por  $(x_1, t_1)$  y  $(x_2, t_2)$ . En el sistema  $O'$  estarán determinados por  $(x_1', t_1')$  y  $(x_2', t_2')$ . Utilizando las transformaciones de Lorentz, el intervalo de tiempo entre los

dos sucesos en  $O'$  es:  $t_2' - t_1' = \frac{t_2 - t_1 - (x_2 - x_1) \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

Para que sean simultáneos es necesario que  $t_2' - t_1' = 0 \Rightarrow c^2(t_2 - t_1) = (x_2 - x_1)v$

Cuando las coordenadas espacio-temporales que determinan los sucesos en  $O$  cumplan la relación anterior, estos sucesos serán simultáneos en un sistema  $O'$  que se mueve con una velocidad  $v$  respecto de  $O$ .

#### Página 253. Actividad 4

Dos observadores  $O$  y  $O'$  se encuentran en movimiento de traslación relativo con  $v = 0,6c$ . a) El observador  $O$  ve una varilla en reposo alineada en la dirección del movimiento, y que mide 2 m. ¿Qué longitud tiene la varilla de acuerdo a  $O'$ ? b) Si la misma varilla está en reposo en  $O'$ , y está alineada paralelamente al movimiento, ¿qué larga es de acuerdo a  $O$  y  $O'$ ?

Sol.: la situación del enunciado donde la varilla se encuentra en reposo respecto de  $O$  y  $O'$  se mueve con velocidad  $v = 0,6c$  respecto de  $O$ .

La situación vista desde  $O'$  el observador  $O$  y la varilla se mueven con velocidad  $v$  en

consecuencia la varilla se contrae y su longitud viene dada por:  $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1,6m$

#### Página 253. Actividad

Determinar la velocidad relativa de un cubo que tiene un volumen  $V$  igual a la mitad de su volumen en reposo.

Sol.: El volumen del cubo en reposo es el mayor volumen que puede tener, cuando se mueve la longitud paralela al movimiento se contrae mientras que las dimensiones transversales permanecen constantes.

Si la arista de cubo en reposo es  $l_0$ , en la dirección del movimiento la longitud de la arista será:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{El volumen del cubo en movimiento será } V = l_0^2 \cdot l = l_0^3 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = V_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Como  $V = \frac{1}{2} V_0$  Sustituyendo en la expresión anterior tenemos:  $\frac{1}{2} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow \frac{1}{4} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$

$$\Rightarrow v = \frac{\sqrt{3}}{2} c = 0,86c$$

### Página 253. Actividad 6

Imagina que una nave espacial pasa la Tierra con una velocidad relativa de  $0,8c$ . a) ¿Qué tiempo dura el viaje de la tierra a la luna, de acuerdo con un observador terrestre? b) Cuál es la distancia Tierra Luna de acuerdo a un pasajero de la nave? ¿Cuánto tarda el viaje medido por los tripulantes de la nave?

Sol.: Para un observador terrestre la distancia entre la Tierra y la Luna es  $l_0 = 3,84 \cdot 10^5$  Km y como la velocidad de la nave es  $0,8c$ , el tiempo que dura el viaje será:

$$t_0 = \frac{l_0}{v} = \frac{3,84 \cdot 10^5}{0,8c} = 1,6 \text{ s.}$$

b) Respecto de la nave la Tierra y la Luna se mueven con velocidad  $v = 0,8c$  y en consecuencia

la distancia que las separa se contrae  $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 2,304 \cdot 10^8 \text{ m}$

¿Cuánto tardará el viaje?

Se puede calcular sabiendo que la distancia entre la Tierra y la Luna es  $2,304 \cdot 10^8 \text{ m}$  y que la

velocidad con que se desplazan es  $v = 0,8c$ .  $v = \frac{l}{t} = \frac{2,304 \cdot 10^8}{0,8c} = 0,96 \text{ s.}$

Este apartado se podría resolver sabiendo que los intervalos de tiempo medidos en ambos

sistemas están relacionado por  $t = t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1,6 \sqrt{1 - \frac{0,8^2 c^2}{c^2}} = 0,96 \text{ s}$

### Página 253. Actividad 7

Un mesón  $\mu$  es una partícula inestable cuya vida media es de  $2 \cdot 10^{-6}$  s medida por un observador en reposo respecto al mesón. ¿Cuál será la vida media con respecto a un observador que ve moverse el mesón con una velocidad de  $0,9c$ ? ¿Qué distancia recorrerá un mesón, por término medio, en la atmósfera antes de desintegrarse?

Sol.: El tiempo que tarda en desintegrarse cuando está en reposo es  $t_0 = 2 \cdot 10^{-6}$  s, la vida media del muón aumenta cuando es medida en un sistema respecto del cual el muón se

mueve, y ambos tiempos vienen relacionados por  $t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{1 - \frac{0,9^2 c^2}{c^2}}} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

La distancia recorrida por el mesón es  $l = v \cdot t = 0,9c \cdot 4,6 \cdot 10^{-6} = 1238 \text{ m}$

Podríamos calcular esta distancia, referida al sistema ligado al mesón, en este caso es la atmósfera la que se desplaza a  $0,9c$  y el espacio recorrido por la atmósfera referido al sistema del mesón es  $l = v \cdot t_0 = 0,9c \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 540 \text{ m}$

Esta longitud está contraída ya que se mueve respecto del sistema ligado al mesón. La

distancia medida referida a un observador terrestre será.  $l_0 = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 1238m$

### Página 258. Cuestión

Calcula la energía asociada a los cuantos de luz correspondiente a los colores azul y rojo del espectro: 4000Å y 7000Å.

Sol.:Azul:  $E= 3,12eV$ ; Rojo: $E=1,78eV$

### Página 267. Actividad 1

Sol.:

A	2
B	1
C	6
D	5
E	4
F	3

### Página 267. Actividad 2

Explica en pocas palabras en qué consiste la catástrofe ultravioleta.

Sol: según la física clásica, al calcular teóricamente la densidad de energía de radiación en una cavidad en equilibrio, a medida que la frecuencia (dominio ultravioleta y más allá) crece las predicciones teóricas tienden hacia infinito, lo que no coincide con los resultados experimentales.

### Página 267. Actividad 3

Contesta:

- ¿De qué magnitud depende la energía cinética de los electrones arrancados durante el efecto fotoeléctrico?
- ¿Aumenta el número de electrones arrancados cuando se aumenta el valor de la energía de los fotones incidentes?¿Por qué?

Sol.:

- de la energía de los fotones incidentes, es decir, de su frecuencia.
- No, simplemente eso hace que los electrones arrancados tengan una mayor energía cinética.

### Página 267. Actividad 4

Explica, según el modelo de Bohr, cómo se forman las líneas espectrales de emisión en un átomo.

Sol.: las líneas de emisión se forman cuando un electrón pasa de una órbita estacionaria a otra menos energética, liberando la diferencia de energía en forma de radiación.

**Página 267. Actividad 5**

Calcula la longitud de onda asociada a un fotón cuya energía es de 2eV. ¿A qué zona del espectro pertenece?

*Sol.:  $E = 6198 \text{ \AA}$ . Pertenece a la zona visible del espectro electromagnético.*

**Página 267. Actividad 6**

Compara la energía de un fotón del dominio radio ( $\lambda = 1 \text{ m}$ ) con uno correspondiente a la radiación gamma ( $\lambda = 10^{-3} \text{ \AA}$ )

*Sol.:  $E_{\text{gamma}}/E_{\text{radio}} = 10^{-13}$*

**Página 267. Actividad 7**

Calcula la frecuencia y la longitud de onda umbral para el efecto fotoeléctrico en el sodio ( $W_0 = 1.9 \text{ eV}$ ).

*Sol.:  $f = 4.6 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ ;  $\lambda = 6500 \text{ \AA}$*

**Página 267. Actividad 8**

Calcula las longitudes de onda para las primeras líneas de la serie de Lyman ( $n_f = 1$ ). ¿En qué zona del espectro electromagnético se encuentran? ¿Cuál es la energía asociada a cada transición?

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right), \text{ sustituyendo para } n = 2, 3, 4, \dots \text{ queda}$$

$$n = 2 \rightarrow \lambda = 1215 \text{ \AA}$$

*Sol.:  $n = 3 \rightarrow \lambda = 1026 \text{ \AA}$*

$$n = 4 \rightarrow \lambda = 972.3 \text{ \AA}$$

$$n = 5 \rightarrow \lambda = 949.6 \text{ \AA}$$

**Página 267. Actividad 9**

¿Cuál es la longitud de onda asociada a un protón moviéndose a  $0.001c$ ? (Dato:  $m_p = 1.67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ )

*Sol.: utilizando expresiones no relativistas,  $\lambda = 0.013 \text{ \AA}$*

**Página 273. Cuestión**

Completar la siguiente tabla:

	N de protones	N de neutrones	N de electrones
${}_{10}^{20}\text{Ne}$	10	10	10
${}_{20}^{48}\text{Ca}$	20	28	20
${}_{42}^{98}\text{Mo}$	42	56	42
${}_{83}^{209}\text{Bi}$	83	126	83

**Página 273. Cuestión 1**

Calcula la masa atómica del carbono a partir de las masas isotópicas y de la abundancia de sus isótopos.

*Sol.: 12,0111u*

**Página 273. Cuestión 2**

Indicar cuáles de las siguientes especies son isótopos e isóbaros:

*Sol.:*  
 Isótopos:  ${}_{16}^{34}\text{S}$ ,  ${}_{16}^{36}\text{S}$   
 ${}_{18}^{36}\text{Ar}$ ,  ${}_{18}^{40}\text{Ar}$   
 Isóbaros:  ${}_{16}^{36}\text{S}$ ,  ${}_{18}^{36}\text{Ar}$   
 ${}_{18}^{40}\text{Ar}$ ,  ${}_{19}^{40}\text{K}$ ,  ${}_{20}^{40}\text{Ca}$

**Página 274. Cuestión**

Busca el valor de las constantes que aparecen en la ecuación anterior y comprobar que el valor obtenido para r es el dado.

*Sol.:  $m = 4 u = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{kg}$ ;  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2 \text{C}^{-2}$ ;  $v = 2 \cdot 10^7 \text{ ms}^{-1}$ ;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$*

**Página 274. Cuestión**

Si las fuerzas nucleares son mucho más intensas que las fuerzas eléctricas, por qué no se condensan todos los núcleos?

*Sol.: Las fuerzas nucleares son fuertemente atractivas a distancias del orden de  $10^{-15} \text{m}$  (1fm) y decrecen rápidamente para distancias mayores a ésta. Así, a 4fm las fuerzas nucleares y las eléctricas son del mismo orden, y a 25 fm las fuerzas nucleares son un millón de veces inferiores a las eléctricas. Por otra parte, a distancias inferiores a 1fm las fuerzas nucleares se vuelven repulsivas, lo que justifica que el núcleo no se colapse.*

**Página 276. Cuestión 1**

Indica algunos de los núcleos estables del tipo impar-impar.

*Sol.:  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^6_3\text{Li}$ ...*

**Página 276. Cuestión 2**

- Cuando un isótopo inestable tiene una relación N/Z menor que la de sus isótopos estables, ¿qué tipo de radiación emitirá con mayor probabilidad?.
- Cuando un isótopo inestable tiene exceso de neutrones con respecto a sus isótopos estables, ¿qué tipo de radiación emitirá con mayor probabilidad?.

*Sol.:*

- Teóricamente, podría estabilizarse mediante emisión de positrones ( $\beta^+$ ) o captura electrónica. Si se trata de un isótopo pesado ( $Z > 82$ ) se estabilizará mediante emisión  $\alpha$ .*
- En este caso, la relación N/Z es mayor que la de sus isótopos estables. La estabilización se lograría por emisión  $\beta^-$ .*

**Página 276. Cuestión**

Calcula la energía de enlace en el  ${}^4\text{He}$ . Expresar el valor obtenido en MeV.

*Sol.:  $E=28'15 \text{ MeV}$*

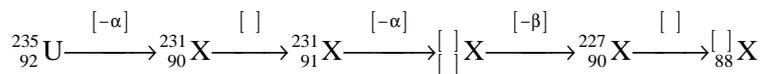
**Página 278. Cuestión**

A partir de las masas isotópicas del  ${}^{236}\text{U}$ ,  ${}^{232}\text{Th}$  y  ${}^4\text{He}$ , calcula la energía liberada, en MeV, en la siguiente reacción nuclear:  ${}^{236}\text{U} \rightarrow {}^{232}\text{Th} + {}^4\text{He}$ . Suponiendo que toda la energía liberada aparece en forma de energía cinética de la partícula alfa, calcula su velocidad.

*Sol.:  $v=1'5 \cdot 10^4 \text{ kms}^{-1}$*

**Página 281. Cuestión**

Completar con la partícula emitida o con el isótopo obtenido, en la serie de desintegración del  ${}^{235}\text{U}$ :



*Sol.:  ${}^{235}_{92}\text{U} \xrightarrow{-\alpha} {}^{231}_{90}\text{Th} \xrightarrow{-\beta^-} {}^{231}_{91}\text{Pa} \xrightarrow{-\alpha} {}^{227}_{89}\text{Ac} \xrightarrow{-\beta^-} {}^{227}_{90}\text{Th} \xrightarrow{-\alpha} {}^{223}_{88}\text{Ra}$*

**Página 282. Cuestión**

A partir de la ecuación  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ , y dando valores a t en función de T, construir una gráfica de N frente t.

*Sol.: A partir de la expresión anterior, construimos la tabla siguiente, dando valores a t en función del período de semidesintegración T.*

<i>t</i>	<i>0</i>	<i>T</i>	<i>2T</i>	<i>4T</i>	<i>8T</i>
<i>N</i>	<i>N<sub>0</sub></i>	<i>N<sub>0</sub>/2</i>	<i>N<sub>0</sub>/4</i>	<i>N<sub>0</sub>/8</i>	<i>N<sub>0</sub>/16</i>

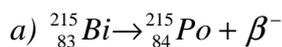
*Representamos gráficamente estos datos de N frente a t.*

**Página 283. Cuestión**

El  ${}^{215}\text{Bi}$  es un emisor  $\beta^-$ , con un periodo de semidesintegración de 8 min.

- Escribir su proceso de desintegración
- Calcular la constante radiactiva  $\lambda$
- Calcular el número de átomos, así como la masa en gramos de  ${}^{215}\text{Bi}$  en una muestra cuya actividad es  $10 \mu\text{Ci}$ .

*Sol.:*



b)  $\lambda = 1'44 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

c)  $N = 2'6 \cdot 10^8 \text{ átomos}; \text{ masa de Bismuto} = 9'27 \cdot 10^{-17} \text{ kg}$

**Página 283. Cuestión**

En 1940 fueron obtenidos los primeros elementos transuránidos. En la actualidad se conocen otros. Investiga cuándo y donde se han descubierto estos elementos.

*Sol.: Consultar la siguiente bibliografía “Los últimos elementos de la tabla de Mendeleiev” Mundo científico, n° 95, 966-973*

**Página 285. Cuestión 1**

La gráfica muestra la distribución de los productos de fisión frente al número másico, correspondiente al bombardeo del  $^{235}\text{U}$  con neutrones lentos.

Interpretar dicha gráfica indicando los números másicos de los fragmentos de fisión correspondientes a los procesos más frecuentes.

*Sol.: La figura corresponde a una gráfica de distribución de productos de fisión (%) frente al número másico (ordenada en escala logarítmica). Los fragmentos más frecuentes tienen números másicos próximos a 95 y 140.*

**Página 285. Cuestión 2**

Además de la fisión del uranio en bario-lantano observado por Lise Meitner y Otto Frisch, pueden originarse otros fragmentos de fisión: 1)  $^{141}\text{Ba}$  y  $^{92}\text{Kr}$ , 2)  $^{140}\text{Xe}$  y  $^{94}\text{Sr}$ , 3)  $^{132}\text{Sn}$  y  $^{101}\text{Mo}$ . Escribir las correspondientes reacciones indicando el número de neutrones liberados.

*Sol.:*

1.  $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 2\ ^1_0\text{n}$
2.  $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{140}_{54}\text{Xe} + ^{94}_{38}\text{Sr} + 1\ ^1_0\text{n}$
3.  $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{132}_{50}\text{Sn} + ^{101}_{42}\text{Mo} + 2\ ^1_0\text{n}$

**Página 286. Cuestión**

La primera bomba nuclear, arrojada en Hiroshima (20 Guerra Mundial, 1945), contenía  $^{235}\text{U}$  (una muestra del tamaño de una pelota de tenis). Este material, muy fisionable por neutrones lentos o térmicos, fue separado del  $^{238}\text{U}$ , a partir del uranio natural. Esta fue, sin duda, una de las tareas más difíciles del denominado Proyecto Manhattan, empleándose dos procedimientos de separación.

Buscar en la bibliografía cuáles fueron esos dos procedimientos y analizar el fundamento físico de los mismos.

*Sol.: Consultar "conceptos de física" de P.Hewitt, p. 558. Ed. Limusa, 1992. Uno de los métodos se refiere a la diferente velocidad de fisión de los átomos de  $^{235}\text{U}$  y  $^{238}\text{U}$  en estado gaseoso, y el otro, al diferente comportamiento de iones de estos átomos en un campo magnético.*

**Página 288. Cuestión**

En la fisión de un núcleo de  $^{235}\text{U}$  se originan 2 ó 3 neutrones rápidos, dependiendo del proceso. Discutir el destino de dichos neutrones en el seno núcleo de un reactor.

*Sol.: Cabe esperar tres destinos diferentes para un neutrón en el núcleo del reactor:*

- a) *que provoque la fisión de un átomo de  $^{235}\text{U}$*
- b) *que sea absorbido por el  $^{238}\text{U}$*
- c) *que escape del metal hacia alrededores no fisionables*

**Página 289. Cuestión 1**

Consideremos la reacción nuclear  $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$ , en la que dos núcleos de deuterio se fusionan originando helio y un neutrón.

- a) Evaluar la energía liberada en el proceso

b) Comparar el resultado obtenido con las energías puestas en juego en los procesos de fisión anteriormente estudiados.  $M({}_1^2\text{H})=2,0141\text{ u}$ ;  $M({}_1^3\text{H})=3,0160\text{u}$   $M({}_2^4\text{He})=4,0026\text{u}$ ;  $M({}_0^1\text{n})=1,0087\text{ u}$ .

*Sol.:*

a)  $\Delta E=0,0188\text{u}=17,6\text{Mev}$

b) *Esta cantidad es inferior a la liberada en un proceso de fisión (en donde la energía liberada es del orden de 200 MeV). Sin embargo si consideramos las energías liberadas por nucleón resulta que en el caso de la fisión tendríamos:  $200\text{ MeV}/235\text{ nucleones}=0,85\text{ MeV/nucleón}$*

*Mientras que en la fisión sería:  $17,6\text{ MeV}/4\text{nucleones}=3,52\text{MeV/nucleón}$ , resultando, por tanto, que la fisión es un proceso más favorable desde el punto de vista energético.*

### **Página 289. Cuestión 2**

Al hablar de la fisión nuclear encontrábamos que era posible obtener energía fragmentando núcleos pesados en otros más ligeros. Al referirnos ahora al proceso de fusión nuclear, afirmamos que también es posible obtener energía del proceso contrario, es decir, fusionando núcleos ligeros en otros más pesados. ¿Constituye tal hecho una contradicción?. ¿Es posible que procesos opuestos, como fisión y fusión puedan, sin embargo, liberar energía?.

*Sol.:observando la curva de energía de enlace por nucleón frente al número másico, vemos un máximo en  $A=56$ , correspondiente a la mayor estabilidad nuclear. Los núcleos con  $A<56$  o  $A>56$  son más inestables y se estabilizan, en el primer caso, por fusión (aumenta  $A$ ) y en el segundo, por fisión (disminuye  $A$ ), teniendo lugar en ambos casos liberación de energía.*

### **Página 289. Cuestión 3**

¿Sería posible obtener energía de los núcleos de hierro ya sea por fisión o por fusión nuclear? Razona la respuesta a partir de la gráfica  $E/A=f(A)$  y de la posición de dicho elemento en la misma.

*Sol.:no, ya que el hierro ( $A=56$ ) es el núcleo más estable.*

### **Página 291. Cuestión 1**

La energía nuclear de fusión aparece como una energía abundante y limpia que podrá utilizarse en el futuro. Sin embargo, ¿no es la energía nuclear de fusión la fuente primordial de energía que siempre ha hecho posible la vida sobre la Tierra?. Razona la respuesta.

*Sol.:ciertamente, ya que la energía solar que hace posible la vida sobre la tierra procede de procesos de fusión nuclear que ocurren en el interior del sol.*

### **Página 291. Cuestión 2**

Explica por qué no es posible obtener energía de la fisión del helio ni de la fusión del uranio.

*Sol.:ver cuestión 2 de la página 287*

### **Página 293. Actividad 1**

Compara el volumen del átomo con el del núcleo. Estimar la densidad que posee el núcleo de un átomo.

*Sol.:  $V_{\text{átomo}} = 10^{12} V_{\text{núcleo}}$ ; densidad =  $1,44 \cdot 10^{17} \text{kgm}^{-3}$*

### **Página 296. Actividad 2**

Justificar el hecho de que a medida que aumenta Z, aumenta la relación N/Z en los núcleos estables.

*Sol.: a medida que aumenta Z aumentan las fuerzas de repulsión electrostática entre los protones del núcleo. Para compensar esto, deben aumentar las fuerzas nucleares, lo que se consigue si aumenta el número de neutrones, ya que se establecen fuerzas atractivas n-p y n-n.*

### **Página 293. Actividad 3**

Considerando que la fisión de un núcleo de  $^{235}\text{U}$  libera una energía de 208 MeV, a) calcular la energía liberada a partir de 1 kg de dicho material. b) )Qué tiempo podría lucir una bombilla eléctrica de 100 W con una cantidad semejante de energía eléctrica?

*Sol.: a)  $E = 8,53 \cdot 10^{13} \text{J}$ ; b)  $T = 8,53 \cdot 10^{11} \text{s}$*

### **Página 293. Actividad 4**

Aclara el distinto comportamiento de los isótopos naturales del uranio frente a los neutrones, justificando la importancia del moderador.

*Sol.: el  $^{235}\text{U}$  absorbe neutrones térmicos e inmediatamente se fisiona; sin embargo, el  $^{238}\text{U}$  absorbe los neutrones rápidos sin sufrir posterior fisión. Si no existiese el moderador, los neutrones rápidos serían absorbidos antes de reducir su velocidad.*

### **Página 293. Actividad 5**

Cómo es posible que un neutrón lento o térmico sea capaz de penetrar en un núcleo, produciendo su fisión, mientras que un protón necesita una energía muchísimo mayor para lograrlo?.

*Sol.: El neutrón no tiene carga y al aproximarse al núcleo no experimenta fuerzas de repulsión eléctrica, en tanto que el protón, al estar cargado positivamente, sí.*

### **Página 293. Actividad 6**

Imagina un material fisible que libera sólo un neutrón por fisión. )Podría mantenerse una reacción en cadena si una fracción de éstos escapase al ambiente o fuese absorbido por un núcleo no fisionable?.

*Sol.: No.*

### **Página 293. Actividad 9**

Una central térmica quema carbón, mientras que una central nuclear Aquema® combustible fisible (p.e  $^{235}\text{U}$ ). Diariamente se consume en la primera una cantidad de carbón dos millones de veces superior a la de  $^{235}\text{U}$  utilizado en la segunda. )A qué se debe tan abismal diferencia?.

*Sol.: se debe a la diferente cantidad de energía liberada por gramo de material "combustible" (carbón o  $^{235}\text{U}$ ), ya que en la central térmica la energía procede de reacciones químicas de combustión (del orden de eV), mientras que en una central nuclear, la energía procede de la fisión (del orden de MeV).*

**Página 293. Actividad 10**

Una reacción de fisión libera una energía de 200 MeV por núcleo fisionado. Cuántas fisiones se producen en cada segundo en una central nuclear que rindiese 1000 MW de potencia?

*Sol.:  $n^\circ \text{ fisiones/s} = 3'125 \cdot 10^{25}$*

**Página 293. Actividad 11**

Suponiendo que la fisión de un núcleo de  $^{235}\text{U}$  libera 200 MeV, calcular:

- la energía liberada a partir de 1 g de  $^{235}\text{U}$
- la masa de  $^{235}\text{U}$  que se necesitaría para abastecer de energía una vivienda durante un año, si la misma consume por término medio 25 Kwh diariamente.

*Sol.:*

a)  $E = 8'2 \cdot 10^{10} \text{ J}$

b)  $\text{Masa} = 0'4 \text{ g/año.}$

**Página 293. Actividad 12**

Explica brevemente cuál es la función, en un reactor nuclear, de: a) moderador; b) barra de control.

*Sol.: el moderador frena los neutrones rápidos emitidos en la fisión del  $^{235}\text{U}$ . La barra de control absorbe el exceso de neutrones térmicos, controlando el ritmo de la reacción en cadena.*

**Página 293. Actividad 14**

Un neutrón rápido, de energía cinética igual a 2 MeV pierde la mitad de su energía en cada colisión con un átomo del moderador. ¿Cuántas colisiones deberán producirse para que podamos considerarlo un neutrón térmico, cuya energía es del orden de 0,04 eV?

*Sol.:  $n^\circ \text{ colisiones} = 32$*

**Página 293. Actividad 15**

¿Cuándo se producirá más energía: al fisionarse un solo átomo de uranio o al fusionarse un par de átomos de hidrógeno? ¿Cuándo se liberará más energía, al fisionar un gramo de uranio o al fusionar un gramo de hidrógeno?. Razona la respuesta.

*Sol.: ver cuestión 1 de la página 289*

**Página 293. Actividad 16**

El aprovechamiento de la energía nuclear de fisión con fines pacíficos es una realidad desde hace muchos años. ¿A qué crees que se debe el hecho de que no existan centrales nucleares de fusión, siendo este proceso más rentable desde el punto de vista energético?.

*Sol.: hoy en día no se han resuelto las dificultades técnicas para poder llevar a cabo reacciones de fusión controladas (temperaturas elevadas para iniciarlas, confinamiento del material fusible, etc.)*



$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 53.06 \text{ años} \sqrt{1 - \frac{(0.98c)^2}{c^2}} = 10.56 \text{ años}$$

La edad de Pedro, a su regreso, será:  $25 + 10.56 = 35.56$  años.

#### EJERCICIO 4P

¿Cuál es la masa de un electrón que se mueve con la velocidad de  $2 \cdot 10^8$  m/s? ¿Cuál es su energía total? ¿Cuál es su energía cinética relativista?

Sol.:

La masa del electrón en movimiento vale.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9.1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8}\right)^2}} = \frac{9.1 \cdot 10^{-31}}{\sqrt{\frac{5}{9}}} = 12.2 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

La energía total viene dada por:

$$E = mc^2 = 12.23 \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 109.8 \cdot 10^{-15} = 1.1 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

Energía cinética relativista:

$$E_c = (m - m_0)c^2 = (12.2 - 9.1) \cdot 10^{-31} \cdot 9 \cdot 10^{16} = 27.9 \cdot 10^{-15} = 0.28 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

#### EJERCICIO 5P

Diga si es CIERTO o FALSO, razonando la respuesta:

“A velocidades próximas a la velocidad de la luz, las partículas aumentan su masa”

Sol.:

CIERTO, de acuerdo a las consecuencias de la teoría de la relatividad, la masa de una partícula es una propiedad variable que depende de la masa en reposo de esa partícula (que la mide la balanza) y de la velocidad que posee, según la expresión:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad m_0 \text{ es la masa en reposo de la partícula.}$$

#### EJERCICIO 6P

Imagina que viajas a través del espacio interestelar rumbo a la estrella Sirius. ¿Notarás que el ritmo de tus pulsaciones durante el viaje parece más lento, más rápido, o igual al que tienes en la Tierra? Explica la respuesta.

Sol.: Parece más lento, según la teoría de la relatividad la dilatación del tiempo también es aplicable a los procesos biológicos. Un proceso biológico, como las pulsaciones, se retarda cuando está en movimiento.

#### EJERCICIO 7P

El Sol puede considerarse como un cuerpo negro ideal. Se sabe que por segundo irradia una energía de  $5.013 \cdot 10^{26}$  J; o, lo que es lo mismo, una potencia de  $5 \cdot 10^{26}$  W

- ¿Qué energía irradia por cada  $\text{m}^2$  de superficie solar? Radio del Sol:  $6.9 \cdot 10^8$  m
- ¿Cuál es la temperatura media del Sol?
- ¿Cuál será la frecuencia de la radiación más abundante en el espectro solar?

Sol.:

a) el área de la superficie solar, supuesto el Sol esférico, es :

$$s = 4\pi r^2 = 4\pi(6.9 \cdot 10^8)^2 = 598.285 \cdot 10^{16} \text{ m}^2$$

La potencia irradiada por cada  $\text{m}^2$  de superficie solar es:

$$\frac{P}{S} = \frac{5.013 \cdot 10^{26} \text{ W}}{598.285 \cdot 10^{16} \text{ m}^2} = 8.38 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2$$

b) Aplicando la ley de Stefan-Boltzman:

$$E = \sigma_0 \cdot T^4 ; 8.38 \cdot 10^7 \text{ W/m}^2 = 5.672 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4} \cdot T^4 ;$$

de donde  $T = 6199.79 \text{ K} = 5926.8^\circ \text{C}$

c) Según la ley de Wien:

$$\lambda_m \cdot T = 2.897 \cdot 10^{-3} \text{ mK}; \text{ de donde } \lambda_m = \frac{2.897 \cdot 10^{-3} \text{ mK}}{6199.79 \text{ K}} = 4.67 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

como la frecuencia es:  $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4.67 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 6.4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ .

### EJERCICIO 8P

Calcula la frecuencia y el valor del cuanto elemental de energía de un oscilador que emite radiación en una longitud de onda en el vacío que corresponde a 400 nm.

Sol.:

$$\text{Dado que: } \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 7.5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{Igualmente: } E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4.97 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

### EJERCICIO 9P

Sobre un metal inciden fotones de longitud de onda 500 nm. Si la longitud de onda umbral de dicho metal es de 612 nm, calcula:

- Si se arrancan o no electrones
- En caso positivo, la energía cinética de los mismos
- La energía de extracción en eV.

Sol.: En el efecto fotoeléctrico se cumple que :  $E = W_0 + E_c$  ;

luego  $h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$  ; también sabemos que  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  ; entonces:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{500 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \quad \text{y} \quad \nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{612 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 4.9 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

a) como  $\nu > \nu_0$ , entonces sí que se arrancan electrones del metal.

$$b) E_c = h(\nu - \nu_0) = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js} (6 \cdot 10^{14} - 4.9 \cdot 10^{14}) \text{ Hz} = 7.29 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$c) W_0 = h\nu_0 = 6.67 \cdot 10^{-34} \text{ Js} 4.9 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 3.25 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{3.25 \cdot 10^{-19}}{1.6 \cdot 10^{-19}} \text{ eV} = 2.03 \text{ eV}$$

**EJERCICIO 10P**

Determina la longitud de onda de las dos primeras líneas de la serie Balmer del espectro del átomo de Hidrógeno.

*Sol.:*

Sabiendo que:  $\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$  siendo el valor de  $R = 1.097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$  y

$n_1 = 2$  para la serie de Balmer.

Sustituyendo en dicha ecuación  $n_2 = 3$ , se obtiene la primera línea, cuya longitud de onda resulta:  $\lambda = 6.563 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 656.3 \text{ nm}$ .

Repetiendo los cálculos para  $n_2 = 4$ , se obtiene la segunda línea cuya  $\lambda = 486.2 \text{ nm}$

**EJERCICIO 11P**

Calcula la longitud de las ondas materiales correspondientes a:

- un electrón de 100 eV de energía cinética
- un balón de fútbol que se mueve a 25 m/s, si su masa es de 450 g.

*Sol.:*

a)  $eV = \frac{1}{2}mv^2$  ;  $100 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = \frac{1}{2} \cdot 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot v^2$

y operando resulta  $v = 1.2 \cdot 10^{10} \text{ m/s}$  . Sin considerar los efectos relativistas por ser  $v$  pequeña, se calcula la longitud de onda:

$$\lambda = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 5.9 \cdot 10^6 \text{ m/s}} = 1.2 \cdot 10^{-10} \text{ m. Sí se aprecian efectos ondulatorios}$$

b)  $\lambda = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{450 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 25 \text{ m/s}} = 5.9 \cdot 10^{-35} \text{ m. Su } \lambda \text{ es tan pequeña que sus efectos ondulatorios}$

no se pueden apreciar.

**EJERCICIO 12P**

Halla la incertidumbre en la medida de la velocidad de las siguientes partículas:

- una masa de 10 kg en movimiento, si la incertidumbre de la medida de su posición es de 0.1 mm
- un electrón de masa  $9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ , si la incertidumbre de la medida de su posición es del orden del diámetro de su tamaño ( $10^{-15} \text{ m}$ )

Interpreta el resultado obtenido en cada caso.

*Sol.:*

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi} \quad \text{y} \quad \Delta v \geq \frac{h}{2\pi \cdot m \cdot \Delta x} \quad \text{luego:}$$

a)  $\Delta v \geq \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{2\pi \cdot 10 \text{ kg} \cdot 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 1.06 \cdot 10^{-31} \text{ m/s}$  valor indetectable y es válido el modelo de

la Física clásica.

b)  $\Delta v \geq \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{2\pi \cdot 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 10^{-15} \text{ m}} = 1.16 \cdot 10^{11} \text{ m/s}$  valor muy elevado y no son válidos los

patrones clásicos y hay que aplicar la teoría cuántica.

**EJERCICIO 13P**

Cuando se ilumina un metal con luz azul no se produce el efecto fotoeléctrico. ¿Emitirá electrones el metal cuando se ilumine con luz roja?

*Sol.: El valor de  $v_{azul} > v_{roja}$  y la energía de un fotón de luz azul es mayor que la de un fotón de luz roja. Si con la azul no se produce el efecto fotoeléctrico, tampoco se producirá con la roja.*

**EJERCICIO 14P**

¿Qué cuantos de radiación son más energéticos, los infrarrojos o los visibles? ¿Existen los fotones de luz blanca?

*Sol.:*

*Los visibles por tener frecuencia mayor y energía mayor.*

*No existen fotones de luz blanca ya que es una mezcla de luces de siete colores.*

**EJERCICIO 15P**

Calcula el defecto de masa, la energía de enlace y la energía de enlace por nucleón para el núcleo de Helio-3. Masa del protón = 1.00729 u; masa del neutrón = 1.00867 u; masa del Helio-3 = 3.01603 u.

*Sol.:*

*El núcleo está formado por 2 protones y 1 neutrón:*

*Masa de 2 protones:  $2 \cdot 1.00729 \text{ u} = 2.01458 \text{ u}$*

*Masa de 1 neutrón:  $1.00867 \text{ u} = 1.00867 \text{ u}$*

*Masa total .....  $3.02325 \text{ u}$*

*Masa del núcleo .....  $3.01603 \text{ u}$*

*Defecto de masa .....  $0.00722 \text{ u}$*

*Por tanto la energía de enlace será:*

$$E = 0.00722 \text{ u} \cdot 9.31 \text{ MeV/u} = 6.72 \text{ MeV}$$

*Y la energía por nucleón:  $\frac{E}{A} = \frac{6.72 \text{ MeV}}{3} = 2.24 \text{ MeV/nucleón}$*

**EJERCICIO 16P**

La fisión de un núcleo de Uranio-235 libera aproximadamente 200 MeV. ¿Cuánto tardan en consumirse 20 kg de Uranio-235 en un reactor nuclear de 700 MW de potencia?

*Sol.: La energía liberada en una fisión es:*

$$200 \text{ MeV} = 2 \cdot 10^8 \text{ eV} \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 3.2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

*El número de fisiones que deben producirse por segundo es:*

$$\frac{7 \cdot 10^8 \text{ J/s}}{3.2 \cdot 10^{-11} \text{ J/fision}} = 2.19 \cdot 10^{19} \text{ fisiones/s}$$

*Número de núcleos existentes en 20 kg de uranio-235:*

$$\frac{2 \cdot 10^4 \text{ g}}{235 \text{ g/mol}} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \text{ nucl./mol} = 5.2 \cdot 10^{25} \text{ nucleos}$$

*El tiempo que tardan en consumirse los 20 kg de uranio es:*

$$t = \frac{5.12 \cdot 10^{25} \text{ nucleos}}{2.19 \cdot 10^{19} \text{ nucleos/s}} = 2.33 \cdot 10^6 \text{ s} = \frac{2.33 \cdot 10^6}{86400} = 26.9 \text{ dias}$$

**EJERCICIO 17P**

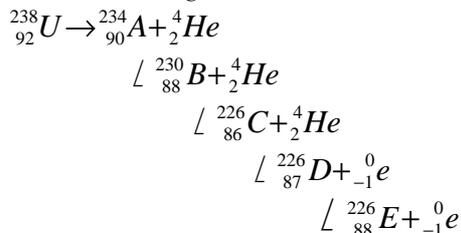
Determina el número atómico y el número másico del isótopo que resultará del  ${}_{92}^{238}\text{U}$  después de emitir tres partículas alfa y dos beta.

*Sol.:*

Aplicando las leyes de los desplazamientos radiactivos, se obtiene un núcleo final cuyo número atómico y másico es:

$$Z = 92 - 3 \cdot 2 + 2 \cdot 1 = 88; \quad A = 238 - 3 \cdot 4 = 226$$

Las sucesivas desintegraciones son:

**EJERCICIO 18P**

Tenemos  $6.02 \cdot 10^{23}$  átomos del isótopo radiactivo  ${}^{51}\text{Cr}$ , con un periodo de semidesintegración de 27 días. ¿Cuántos átomos quedarán al cabo de seis meses?

*Sol.:*

El número de núcleos radiactivos que quedan sin desintegrarse se calcula a partir de  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

La constante de desintegración es:  $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{27 \text{ días}} = 2.57 \cdot 10^{-2} \text{ días}^{-1}$

y el número de átomos que queda sin desintegrar después de seis meses (180 días) es:  $N = 6.02 \cdot 10^{23} \text{ átomos} \cdot e^{-2.57 \cdot 10^{-2} \cdot 180} = 5.9 \cdot 10^{21} \text{ átomos}$

**EJERCICIO 19P**

La constante de desintegración de una sustancia radiactiva es  $2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ . Si tenemos 200 g de ella, ¿cuánto tiempo debe transcurrir para que se reduzca a 50 g? ¿Cuál es su periodo de semidesintegración y su vida media?

*Sol.:*

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad ; \quad m = m_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

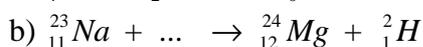
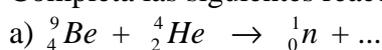
$$50 \text{ g} = 200 \text{ g} \cdot e^{-2 \cdot 10^{-6} \cdot t}; \quad L\left(\frac{50}{200}\right) = -2 \cdot 10^{-6} \cdot t; \quad t = 6.93 \cdot 10^5 \text{ s}$$

La vida media se calcula a partir de:  $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}} = 5 \cdot 10^5 \text{ s}$

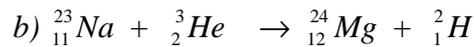
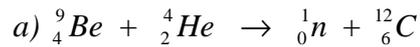
Y el periodo de semidesintegración es:  $T_{1/2} = \tau L2 = 5 \cdot 10^5 \text{ s} \cdot 0.693 = 3.46 \cdot 10^5 \text{ s}$ .

**EJERCICIO 20P**

Completa las siguientes reacciones nucleares:



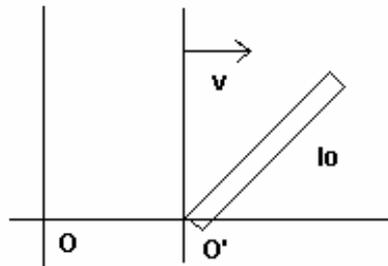
Sol.:



### EJERCICIO 20P

Una varilla de longitud 1 m forma un ángulo de  $45^\circ$  con el eje x de un sistema de referencia respecto al cual la varilla está en reposo ¿Cual es la longitud y el ángulo que forma la varilla, si ésta se mueve paralelamente al eje x con velocidad  $0,8c$ ?

Solución:



Las componentes de la varilla según los ejes x e y serán:

$$l_{0x} = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707 \quad l_{0y} = \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$$

La componente  $l_{0y}$  no se modifica ya que es perpendicular al movimiento.

La componente  $l_{0x}$  se contrae. Siendo su longitud:

$$l_x = l_{0x} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 0,707 \sqrt{1 - \frac{0,8^2 c^2}{c^2}} = 0,424 \text{ m}$$

$$\text{Tenemos que: } l = \sqrt{l_x^2 + l_y^2} = \sqrt{0,424^2 + 0,707^2} = 0,655 \text{ m}$$

La tangente del ángulo que forma con el eje de las x viene dada por:

$$\tan \beta = \frac{l_y}{l_x} = \frac{0,707}{0,424} = 1,667 \quad \arctan 1,667 = 59,05^\circ \quad \beta = 59,04^\circ$$

### V. UN EJEMPLO DE PROBLEMA ABIERTO

A un analista de una industria química donde fabrican sales de potasio le llegan tres muestras de sal natural de tres canteras diferentes. De dicha sal tiene que extraer el potasio, siendo el precio del kilogramo de sal el mismo. Tiene que decidir por la adquisición de la sal de una de las canteras ofertadas. La decisión debe tomarla en un día y tan sólo cuenta para los análisis con un contador Geiger de radiactividad, el cual no está calibrado en eficiencia. ¿Puede hacer algo con dicho aparato?

**RESPUESTA:**

Puede resolver completamente el problema planteado. Si el analista busca en la bibliografía observará que el potasio natural tiene un porcentaje del 0.0118 % de K-40, el cual es un isótopo radiactivo. Por tanto, midiendo con el Geiger podrá detectar cuál tiene mayor proporción de potasio natural.

**CUESTIÓN:** ¿Cómo debe medir con el Geiger?. ¿Hay que calibrarlo?. ¿Cuál es el método a seguir?

**RESPUESTA:**

*Si sólo se desea saber que tipo de sal lleva mayor porcentaje de potasio natural, no es necesario calibrarlo puesto que sólo se necesita saber cuál de las sales tiene mayor proporción de potasio estable, y por tanto, radiactivo. Si por el contrario queremos saber la cantidad exacta de potasio natural que lleva una determinada cantidad de sal natural será necesario efectuar algún tipo de calibrado en eficiencia.*

**OPCIÓN A:** *Tan sólo interesa cuál de los tipos de sales ofertadas tiene mayor contenido en sales de potasio.*

*Método A:*

*a) Introducir la misma cantidad de sal, por ejemplo, 1 kg en tres recipientes idénticos para que la geometría de detección sea la misma.*

*b) Colocar el Geiger, durante cada medida, en la misma posición relativa con respecto a la muestra y medir.*

**Pregunta:** *¿Cuánto tiempo hay que medir y cuántas medidas hay que hacer?*

**Respuesta:**

*El tiempo de cada medida depende de la precisión o error con el que queramos determinar cada medida. Como la desintegración radiactiva sigue una distribución estadística de Poisson tal que la precisión o error de una medida  $E$ , es  $N$ , donde  $N$  es el no de cuentas totales detectadas tras una medida y por tanto, el error relativo, será  $F_{-}, N/N$ .*

*Imaginemos que en una primera medida de cada muestra, la que es menos activa proporciona unas 10 cpm, es decir, que con 10 minutos de cada medida tendremos unas 100 cuentas como mínimo, y por tanto el error mínimo de todas las medidas estará entorno al 10%.*

*Si medimos 10 minutos cada muestra y los resultados de las medidas son:*

*Muestra A: 200 cuentas*

*Muestra B: 310 cuentas*

*Muestra C: 125 cuentas*

*la muestra elegidas será la B cuyo resultado es  $N = [ 31 \pm \ll 310 ) / 10 ]$  cpm*

**OPCIÓN B:** *Si interesase saber exactamente qué porcentaje de potasio contiene la sal natural de la muestra B, sería necesario complementar el método con otro tipo de medidas.*

*Por ejemplo:*

**Método B.-**

*Necesitaríamos tener una muestra de al menos 1 kg de sal en la que se conozca la proporción de K natural que contiene.*

*Supongamos que, efectivamente, tenemos una muestra de 1 kg de sal cuyo porcentaje de K natural es conocido, siendo concretamente del 10%. Procederemos a medir en el mismo tipo de recipiente y con la misma configuración geométrico muestra-detector. Supongamos que tras 10 minutos de medida el contador Geiger detecta 270 cuentas.*

*Entonces el contaje en cuentas por minuto de la muestra patrón será de 27 cpm*

*Al haber sido medido en las mismas condiciones que la muestra "problema" se cumplirá  $(\text{Actividad de la muestra} / \text{Actividad patrón}) = (N' \text{ cpm muestra}) / (N' \text{ cpm patrón}) = 31/27$*

*Por otra parte, (Cantidad K natural en muestra)/ (Cantidad K natural en patrón) = (Actividad de la muestra/ Actividad patrón)*

*Por tanto, Cantidad K natural en muestra)/ (Cantidad K natural en patrón) = 31/27.*

*Así pues, como 27 cpm corresponde al 100% del K natural en la sal de la muestra "patrón", entonces, 31 cpm corresponderá al X% del K natural en la sal de la muestra problema.*

$$X\% = 31 \times 100 / 27 = 11,5 \%$$

*Por consiguiente, la muestra B de sal es la que tiene mayor contenido en K natural con un porcentaje del 11,5 %.*

## PROBLEMA ABIERTO 2

Tras un accidente de tren, entre los restos de un vagón correo se adivina la presencia de un material de apariencia metálica, parcialmente fuera de una cápsula, aparentemente de plomo y en cuyo exterior se visualiza el símbolo de PRECAUCION RIESGO DE IRRADIACIÓN. Inmediatamente se acordona la zona y se solicita la presencia de unos técnicos que acuden provistos de un contador Geiger-Müller montado sobre un robot accionable por control remoto.

1.- ¿Qué tipo de información puede obtenerse de la lectura de un contador GeigerMüller?.

Una vez preparado el contador sobre el robot y a una distancia lo suficientemente grande del material radiactivo para poder asegurar que no se percibe su presencia, se realizan varias medidas con el contador Geiger-Müller, durante 3 minutos cada una, obteniendo los siguientes valores: 18'3; 17'8; 19'0; 18'5; 18'1; 18'5, todos en cpm (cuentas por minuto).

2.- ¿Puede dar un conteo el contador Geiger-Müller a pesar de estar lejos de la fuente radiactiva ¿) está roto?

3.- ¿Porqué no registra siempre exactamente el mismo valor de conteo?, ¿Está roto? si no lo está, ¿cuál es el conteo que debemos asumir que nos proporciona?

Tras efectuar las anteriores verificaciones, aproximamos el robot al material radiactivo de forma que el contador Geiger-Müller lo situamos frente a él y casi en contacto (dejando un espacio de tan sólo 3 o 4 mm). Realizamos unos nuevos conteos de 1 minuto cada uno y obtenemos los siguientes valores:

13230; 13245; 13228; 13237; 13240 y 13236 c.p.m. Para averiguar algo más sobre la naturaleza del material radiactivo, mediante un brazo mecánico interponemos entre dicho material y el contador una cartulina y una plancha de plomo de 3 mm de espesor, repitiendo los conteos y obteniendo los siguientes valores:

a) con la cartulina 13236; 13229; 13235; 13244; 13239; 13221 c.p.m.

b) con la lámina de plomo 6215; 6208; 6222; 6211; 6218; 6210 c.p.m.

4.- ¿Qué tipo de radiaciones se emiten desde ese material radiactivo?

5.- ¿Son peligrosas desde el punto de vista de una irradiación externa? Y en su caso, ¿porqué?

Se decide seguir con la zona controlada hasta en tanto en cuanto puedan realizarse más pruebas y se quiten unos obstáculos que impiden el acceso diáfano hasta el material radiactivo.

Cinco días más tarde, exactamente a la misma hora, se decide repetir las últimas medidas antes de retirar la fuente, encontrando los siguientes valores: a) Sin interponer nada entre el material radiactivo y el contador Geiger-Müller 11064;11062;11058;11050;11068;11070 b) con la cartulina de 3 mm.

11068;11055;11077;11060;11068;11044

c) con la plancha de plomo de 3 mm. 4038;4041;4044;4036;4040;4030.

6.- ¿Qué explicación tiene el resultado observado?

7.- ¿Puedo identificar alguno de los isótopos radiactivos presentes en el material?. En caso afirmativo, ¿cómo puedo hacerlo? Y en tal caso ¿cuál sería dicho isótopo y porqué?

*Sol.:*

1º) *Un contaje global de las radiaciones ionizantes emitidas por el material radiactivo y por el propio medio ambiente.*

2º)  $t = 3 \text{ min}$

$VI = 18.3, 17.8, 19.0, 18.5, 18.1, 18.5 \text{ cpm}$

*No está roto, está registrando el fondo radiactivo de origen natural existente en el ambiente.*

3º) *No está roto, y no registra siempre exactamente el mismo valor porque el resultado de las anteriores medidas es consecuencia de dos sucesos de naturaleza estadística. La primera, la emisión de radiaciones ionizantes como consecuencia de la desintegración de núcleos radiactivos. La segunda, el que alguna de dichas radiaciones interaccione con el volumen gaseoso que constituye el detector Geiger-Müller. El contaje que debemos asumir nos proporciona el detector es el valor medio  $VM(1)$  de las 6 medidas realizadas:*

$$VM(1) = 18.4 \text{ cpm}$$

$t = 1 \text{ min.}, X = 3 \text{ ó } 4 \text{ mm de aire}$

$$V = 13230, 13245, 13228, 13240 \text{ y } 13236 \text{ cpm.}$$

$t = 1 \text{ min.}, X = 3 \text{ mm de cartulina.}$

$$V = 13236, 13229, 13235, 13240, 13239, 13221 \text{ cpm.}$$

$t = 1 \text{ min.}, X = 3 \text{ de plomo.}$

$$V = 6215, 6208, 6222, 6211, 6218, 6210 \text{ cpm.}$$

4º) *En teoría, el material radiactivo de origen desconocido podría emitir fundamentalmente radiación  $\gamma$ ,  $\alpha$  y  $\beta$ . La existencia o no de radiación  $\gamma$  podemos deducirla a partir del hecho de que ésta es totalmente absorbida por una simple hoja de papel. Por su parte, la existencia o no de radiación  $\alpha$  podemos deducirla a partir del hecho de que ésta es totalmente absorbida por una lámina de 2 mm de Al ó de menores espesores para materiales más densos.*

*Los mejores estimadores de los cuatro conjuntos de medidas efectuadas, son sus valores medios y sus incertidumbres asociadas serán las que en cada caso resulte mayor de comparar la asociada a cada medida individual (raíz cuadrada del contaje) y con la desviación estándar de cada conjunto.*

$$VM(1) = 18.4 \text{ cpm. } I(c) = \sqrt{19} = 4.4, I(DS) = 0.4$$

$$VM(1) = (18.4 \pm 4.4) \text{ cpm.}$$

$$VM(a) = 13236 \text{ cpm. } I(c) = 115, I(DS) = 6.3$$

$$VM(a) = (13236 \pm 115) \text{ cpm.}$$

$$VM(b) = 13233 \text{ cpm. } I(c) = 115, I(DS) = 7.2$$

$$VM(b) = (13233 \pm 115) \text{ cpm.}$$

$$VM(c) = 6214 \text{ cpm. } I(c) = 79, I(DS) = 5.3$$

$$VM(c) = (6214 \pm 79) \text{ cpm.}$$

*Como vemos de los contajes totales obtenidos para el material radiactivo desconocido  $VM(a)$ ,  $VM(b)$  y  $VM(c)$ , ó a partir de sus respectivos valores netos (totales menos contaje de fondo  $VM(1)$ ):*

$$VM(a)N = (13218 \pm 115) \text{ cmp}$$

$$VM(b)N = (13215 \pm 115) \text{ cmp}$$

$$VM(c)N = (6196 \pm 115) \text{ cmp}$$

*El contaje con o sin lámina de cartulina son estadísticamente indistinguibles, luego no emite radiación  $\alpha$ . Por el contrario, se observa una clara disminución del contaje al interponer la lámina de Pb, en donde queda absorbida la radiación  $\beta$  emitida, existiendo finalmente un significativo contaje sobre el fondo ( $VM(c)$  ó  $VM(c)N$ ) atribuible a radiación  $\gamma$  emitida por el material radiactivo desconocido. En conclusión, dicho material es un emisor  $\alpha, \beta$  y  $\gamma$ . Si lo son,*

fundamentalmente debido a que la radiación  $\gamma$  es muy penetrante, atenuándose la intensidad  $I_0$  emitida por una fuente radiactiva, según:

$$I = I_0 \cdot \exp(-\mu x)$$

Donde el coeficiente de absorción  $\mu$  es tanto menor cuanto mayor es la energía de la radiación gamma y/o menor es la densidad del material atravesado.  $T = 5$  días.

$t = 1$  min.,  $X = 3$  ó  $4$  mm de aire.

$$V = 11064, 11062, 11058, 11050, 11068, 11070 \text{ cpm.}$$

$t = 1$  min.,  $x = 3$  mm de cartulina.

$$V = 11068, 11055, 11077, 11060, 11068, 11044 \text{ cpm.}$$

$t = 1$  min.,  $x = 3$  mm de plomo.

$$V = 4038, 4041, 4044, 4036, 4040, 4030 \text{ cpm.}$$

6º) El material radiactivo de origen desconocido posee un período de semidesintegración  $T$  relativamente pequeño, ya que su desintegración es muy evidente al comparar los contajes registrados con un lapsus temporal de 5 días.

7º) Para ello debo realizar las siguientes hipótesis simplificadoras.

7.1.- El fondo radiactivo ambiental no varía en los 5 días transcurridos entre las primeras y las segundas tandas de medidas efectuadas ó al menos lo hace en contajes despreciables en comparación con los contajes registrados al medir el material radiactivo desconocido.

7.2.- Este material está integrado por un solo isótopo radiactivo ó al menos existe un isótopo cuya contribución es dominante, de forma tal que la variación del contaje es atribuible a

$$A_f = A_0 e^{-\frac{\ln 2 \cdot \Delta t}{T}}$$

dicho isótopo radiactivo.

De esta forma, puedo aplicar la ley de desintegración radiactiva:

Donde:

-  $A_f$  es la actividad medida al cabo de los 5 días.

-  $A_0$  es la actividad medida originariamente

-  $t$  es el lapsus temporal habido entre ambos conjuntos de medidas.

-  $T$  es el período físico del isótopo que se está desintegrando y cuyo valor identifica inequívocamente a dicho isótopo.

$$T = -\frac{\ln 2 \cdot \Delta t}{\ln \frac{A_f}{A_0}}$$

Despejando el período  $T$ :

Asimilando  $A_0$  como el contaje registrado para la radiación gamma neta inicialmente medida:  $A = VM(c) N = (6196 \pm 115) \text{ cpm.}$ , calculamos la actividad final  $A_f$  neta (una vez restado el fondo) emitida por el material radiactivo desconocido, transcurridos 5 días:

$$A_f = (4019 \pm 64) \text{ cpm.}$$

Sustituyendo queda:

$$T = -\frac{\ln 2 \cdot 5}{\ln \frac{4019}{6196}} = 8.01 \text{ días}$$

Como este período coincide con el del  $^{131}\text{I}$ , bajo las precitadas hipótesis es muy probable que el material radiactivo desconocido esté formado exclusivamente ó fundamentalmente por el citado isótopo del yodo.

## VI. ACTIVIDADES SOBRE LECTURAS COMPLEMENTARIAS

### La paradoja de los gemelos

1. ¿Qué tipos de sistemas de referencia conoces? ¿En qué se diferencian?
2. Haz un pequeño dibujo esquemático de cómo se vería el viaje del que habla la lectura desde ambos puntos de vista, la Tierra y la nave.
3. ¿Cuántos sistemas de referencia distintos puedes distinguir en el viaje? ¿De qué tipo son?
4. Según la Relatividad de Galileo, “el tiempo es absoluto”. Explica que quiere decir esto.
5. Según Galileo, el tiempo es universal y su valor es siempre independiente del observador que lo mida.
6. Según la Teoría de la Relatividad Especial de Einstein, el tiempo es relativo al sistema de referencia en el que se mida. Y tu intuición, ¿con cuál de las dos ideas está más de acuerdo? ¿Cuál es la correcta?

*Sol.: Según la relatividad especial, el tiempo entre dos sucesos es relativo al sistema de referencia en el que se mida (para sistemas de referencia inerciales). El tiempo no transcurre igual para sistemas de referencia que se mueven uno respecto del otro con velocidad constante.*

*Tal vez nuestra intuición nos dice lo contrario debido a la baja velocidad de los sistemas de referencia en nuestras actividades cotidianas...*

7. La Teoría de la Relatividad Especial es para sistemas de referencia inerciales. Busca que es un sistema de referencia inercial. ¿Y uno no inercial?
8. En la lectura, los dos gemelos piensan que su hermano será más joven mientras se alejan mutuamente. ¿Cuál de los dos tiene razón?

*Sol.: En la lectura, mientras se alejen mutuamente, los dos pensarán, con razón, que su hermano es más joven que él, ya que los dos sistemas serán equivalentes.*

9. Vamos a darle valores: Un gemelo viaja desde la Tierra a otro planeta situado a 8 años-luz, en reposo respecto a la Tierra, a una velocidad de  $0,8c$ . ¿Cuánto tiempo transcurre para cada uno cuando el gemelo viajero vuelve de nuevo a la Tierra?

*Sol.: Para el gemelo que se queda en la Tierra:  $\Delta t = 8 \text{ años-luz} / 0,8c = 10 \text{ años}$ ; con el viaje de vuelta 20 años. Para el gemelo viajero:  $\Delta t' = \Delta t / \gamma = 6 \text{ años}$ ; Por tanto, 12 años para el viaje de ida y vuelta.  $\beta = \sqrt{1 - (V/c)^2} = 3/5$ ;  $\gamma = 1/\beta = 5/3$ . El gemelo viajero será, por tanto, 8 años más joven que su hermano cuando se encuentren.*

10. ¿Es un papel simétrico el que juegan los dos gemelos? ¿Es realmente una paradoja?

*Sol.: Los papeles jugados por los gemelos no son simétricos. El gemelo que permanece en la Tierra es un sistema de referencia inercial. El gemelo viajero, para volver, debe primero ir frenando hasta pararse, luego acelerar hasta alcanzar otra vez la velocidad que llevaba y es, por tanto, un sistema de referencia acelerado( en dos fases del movimiento). Hay que considerar aquí la Relatividad General. El problema es una paradoja debido al papel aparentemente simétrico que juegan los gemelos frente al resultado asimétrico que se obtiene para su edad.*

**Retazos de la vida de un gran científico: Albert Einstein):**

1. Indica sucintamente qué descubrimientos hicieron famosos a los científicos que proporcionaron información a Einstein y aparecen citados en esta lectura.
2. ¿Por qué trabajo le fue concedido a Albert Einstein en 1921, el premio Nobel de Física? ¿En qué se basa el trabajo? Realiza una consulta bibliográfica si es necesario.
3. ¿ Por qué crees que la teoría general de la relatividad tuvo tantas reticencias entre los físicos coetáneos de Einstein?.
4. Indaga sobre el papel que jugó Albert Einstein en el desarrollo y utilización de armas nucleares. Realiza un breve resumen.
5. Señala la importancia que para ti tiene el conocimiento de la historia de la Ciencia en la comprensión de determinados conceptos. ¿Te ayuda o prefieres ir al grano?
6. Di todo lo que conozcas de Einstein, tanto a nivel personal como científico, antes de leer el siguiente texto.
7. Subraya los aspectos que te hayan llamado mas la atención del texto sobre su vida.
8. “Dios no juega a los dados”. ¿Qué quiso decir Einstein con esta frase tan conocida? Curiosamente, a Einstein le dieron el Nobel por una explicación en el campo de la Física Cuántica. A él no le gustaban nada los conceptos de esta Física como el de Probabilidad , introducido por Max Born. De ahí la frase...
9. Haz un resumen de cómo percibes la personalidad de Einstein. ¿Coincide con la idea que se suele tener de los científicos o está estereotipada?

**El siglo XX, el siglo de la Física**

1. Enumera algunos avances tecnológicos que no existirían sin la ayuda de la Física Moderna.
2. ¿Cómo afectaría a nuestras vidas el desconocimiento de la energía nuclear? ¿Sabrías explicar la diferencia entre fisión y fusión nuclear?
3. ¿Qué tipos de interacciones conoces?

## VII. PROPUESTA DE UNA EXPERIENCIA DE LABORATORIO

NOTAS PARA EL PROFESOR: La simulación de las reacciones exige que los diferentes núcleos formados por alumnos choquen, se redistribuyan las partículas del núcleo (o sea los alumnos) y resulten de ello los nuevos núcleos. Por ello estas representaciones no es conveniente hacerlas en el aula, sino mejor en el exterior (por ejemplo en las pistas de deportes) o en general en locales con suficiente espacio libre para permitir el movimiento de las partículas.

Es muy importante que todos comprendan la simulación que hacen en cada caso concreto, tomando conciencia de la representación global, pues a veces se limitan solo a entender su papel individual.

Se pueden proponer otras reacciones diferentes de las descritas, si bien hay que tener en cuenta que si se quieren representar reacciones en las que intervengan partículas beta, electrones, procedentes del núcleo, deberá suponerse que se obtienen por división de un neutrón en un electrón y un protón, por lo que dicho neutrón deberá estar representado por dos alumnos, uno de los cuales hará el papel de protón y el otro de electrón.

## VIII. DIRECCIONES DE INTERNET

### FÍSICA MODERNA

#### Relatividad

<http://home.a-city.de/walter.fendt/physesp/diltiempo1.htm>

<http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/applets/Hwang/ntnujava/relativity/relativity.html>

#### Radiación de un cuerpo negro

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/negro/radiacion/radiacion.htm#La%20ley%20del%20desplazamiento%20de%20Wien>

#### Efecto fotoeléctrico

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/fotoelectrico/fotoelectrico.htm>

#### Modelos atómicos

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/rutherford/rutherford.html>

#### Física nuclear

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/nucleo/nucleo.htm>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/desintegracion/radio.htm>

<http://home.a-city.de/walter.fendt/physesp/decseriesesp.htm>

<http://www.ida.liu.se/~her/npp/demo.html>

<http://particleadventure.org/spanish/>