

Física

Unidad didáctica 11

La física del siglo XX

SOLUCIONARIO DEL LIBRO DE FÍSICA DE 21 DE BACHILLERATO

Unidad didáctica 11: La Física del siglo XX

Cuestiones iniciales

1. ¿Hay alguna diferencia entre observaciones y postulados?

Sí, pues son conceptos diferentes.

Una observación es una comprobación real o experimental de un hecho o un fenómeno físico que se trata de estudiar o analizar.

Un postulado es una suposición dentro de un marco teórico que se utiliza para explicar por qué sucede el hecho que se está observando.

2. Una persona que está en un globo aerostático, ve que otro globo está subiendo, ¿puede estar segura de que realmente es el otro globo el que asciende?

No, pues la misma sensación percibe el observador cuando su globo está en reposo y el otro asciende, que si su globo está bajando y el otro está en reposo.

3. Comenta la siguiente frase de Werner Heisenberg, uno de los físicos más importantes de la Física cuántica: *“Cabe decir que el progreso de la ciencia sólo exige de los que en ella cooperan el admitir y el elaborar nuevos contenidos intelectuales. Cuando se pisa un terreno realmente nuevo, puede suceder que no solamente haya que aceptar nuevos contenidos, sino que sea preciso, además, cambiar la estructura de nuestro pensar, si se quiere comprender lo nuevo”*.

La frase debe conducir a la reflexión que ante nuevos hechos no explicables por el modelo teórico imperante, hay que abrir el mundo del pensamiento a nuevas fronteras, que es lo que ocurrió durante la aparición de la Física cuántica.

INVESTIGA

1. Pon un título alternativo a la lectura anterior y explica el significado de los términos: determinismo, causa y azar y explica por qué no se pueden aplicar las leyes de la Física Clásica al mundo microscópico.

Se pueden poner títulos como: el fin de la Física Clásica, se terminó el principio de determinismo y el de causalidad o ha nacido una nueva Física.

Las leyes clásicas de la Física a través de sus expresiones matemáticas permiten predecir el comportamiento de un sistema en un tiempo posterior en función de los datos previos y esto es lo que se entiende por principio de determinismo.

Además en la Física clásica está perfectamente caracterizado que la evolución o el comportamiento de un sistema se debe a una causa, que es explicada por la teoría física adecuada.

En la Física Cuántica el azar sirve para caracterizar el comportamiento aleatorio de un sistema y se usa la probabilidad para predecir el comportamiento estadístico del mismo.

No se puede aplicar las leyes de la Física Clásica al mundo microscópico porque en él rigen las leyes de la Física Cuántica, y, además, no se deben utilizar ejemplos de la vida macroscópica, como pelotas de tenis, etc, para explicar el comportamiento de los sistemas microscópicos.

2. Las dos pinturas mostradas representan dos tipos de paisajes (Constable es el autor del que aparece a la izquierda; Monet, del de la derecha), obsérvalos y relaciona esta evolución del paisaje en el arte con la evolución de las teorías físicas.

El paisaje de John Constable es un paisaje tradicional realista, aunque no busca el realismo exacto en la representación de las cosas, sino la capacidad que tienen las cosas para evocar ideas o emociones. Se preocupa por los efectos ambientales de la luz sobre la naturaleza, con nubes inestables en los que el aspecto cambia de un momento a otro. Constable afirmó: La forma de un objeto es indiferente; la luz, la sombra y la perspectiva siempre lo harán hermoso.

La pintura de Monet, unas ninfeas, en botánica es el nombre científico de los nenúfares, las cultivó en el jardín acuático que acondicionó en 1893 en su propiedad de Giverny. Evacuando el horizonte y el cielo, Monet concentra el punto de vista en una pequeña zona del estanque, percibida como una parte de la naturaleza, casi en plano de cerca. Ningún punto detiene la atención más que otro, y la impresión dominante es aquella de una superficie informe. El formato intensifica esta neutralidad de la composición donde la ausencia de punto de referencia proporciona al fragmento las calidades del infinito, de lo ilimitado. Si se mira el lienzo de cerca, se tiene la impresión de una total abstracción, tanto los trazos de pintura depositada por la brocha superan la identificación de las plantas o de sus reflejos. El espectador debe realizar un esfuerzo óptico y cerebral constante para reconstituir el paisaje evocado. El inacabado de los bordes dejados sin pintar, acentúa esta insistencia sobre la pintura como superficie cubierta de colores, y es una de las obras maestras de los paisajes abstractos.

Por tanto la visión de los dos cuadros sirve como motivo para el paso del estudio de lo grande o macro (el paisaje de Constable) a lo pequeño, lo nenúfares de Monet, a lo micro, además de que en Monete se observa la falta de un punto de referencia, no así en el pasaje de Constable.

3. Consulta una hemeroteca o en el buscador www.google.es y da una explicación de si una vez construidos los pilares de la Física Cuántica en el primer tercio del siglo XX, finalizó la controversia sobre la misma.

No. Con objeto de dar una estructura lógica a las nuevas ideas y resolver el relativo caos en el que se encontraba la Física Teórica en la década de 1920, Bohr introduce en 1923 el principio de correspondencia en el que afirma que, dado que las leyes de la Física Clásica están plenamente confirmadas en los procesos macroscópicos, postula como condición necesaria de la nueva Física Cuántica, el que todos los problemas de la Física Cuántica deben conducir en el límite a los mismos resultados que la Física

Clásica.

El principio de correspondencia muestra que, para un elevado número de partículas o unos valores muy grandes de los números cuánticos de la Física Cuántica, se obtiene lo previsto por la Física Clásica. Este principio supone admitir, por un lado, la existencia de dos niveles en la Física: el microscópico, formado por el estudio de la materia a nivel atómico o subatómico, y el macroscópico, constituido por los sistemas o los hechos directamente observables, y por otro, la conexión en el límite del mundo microscópico con el macroscópico.

Por otro lado, la descripción de los sistemas microscópicos como onda o corpúsculo de acuerdo con la hipótesis de De Broglie representaba una gran incomodidad intelectual. Por ello, para Bohr, la descripción de un sistema como onda o corpúsculo representa sólo un caso límite de "algo" para lo que no se tiene un modelo clásico, y es preciso utilizar los dos conceptos para tener una visión general del comportamiento de la materia. De esta forma Bohr enuncia en 1927 su principio de complementariedad, que tiene una naturaleza más filosófica que física y viene a decir que en la descripción de ciertos procesos en todos los órdenes del conocimiento es preciso utilizar a la vez conceptos que son excluyentes pero complementarios.

Bohr aplica su principio a aquellos fenómenos físicos para los que resulta imposible reunir en una única imagen los resultados de diferentes tipos de experiencias, como las que se refieren a las propiedades corpusculares y ondulatorias de la materia, que deben considerarse más bien como aspectos complementarios en el sentido de que sólo la totalidad de los resultados suponen la información total sobre el sistema estudiado.

En octubre de 1927 se celebra en Bruselas el 51 Congreso Solvay dedicado al tema "electrones y fotones" y la opinión generalizada es que en él las nuevas teorías recibirían la revalidación definitiva. A dicho Congreso asiste Einstein y sorprende el que no acepte la interpretación probabilística de la Física Cuántica, que para él era debido a la falta de conocimiento.

Einstein se dedicó a intentar probar, mediante contraejemplos, que la nueva teoría es inconsistente consigo misma. Pero Bohr, Heisenberg y otros fueron contestando uno a uno todos ellos, refutando las ideas de Einstein.

Para Einstein, el aspecto indeterminado de la Teoría Cuántica no era satisfactorio y presentía que debía existir algo más, por ser insuficientes los medios de observación de entonces, y dicha teoría era probabilística por ser incompleta. Pero para Bohr, la Física Cuántica satisfacía el principal criterio de toda teoría, que era el de permitir prever los resultados de las experiencias, aún en términos de probabilidad, afirmando que dicha teoría se trataba de un instrumento adecuado de trabajo.

Gracias al prestigio de Einstein y a las aparentes paradojas de la aplicación de la Física Cuántica con principios tan básicos como el de causalidad, tuvo lugar la aparición de una serie de teorías, como alternativa, que se conocen como teorías de variables ocultas, cuya pretensión era que si se pudiesen conocer los valores de estas variables "extra" todo quedaría bien determinado y no habría lugar para incertidumbres ni resultados probabilísticos.

A partir de la segunda guerra mundial el desarrollo de la Física Nuclear, con la construcción de grandes aceleradores de partículas, situó a la Física Cuántica en un segundo plano. Pero en la década de 1960, un físico del CERN (Ginebra), el irlandés del norte John Bell (1928-1990), propició un cambio radical en esta apreciación, al

sentar las bases de los posibles experimentos físicos de laboratorio que pudieran deshacer la controversia planteada sobre la veracidad o no de las teorías de las variables ocultas.

En la década de 1980 la tecnología fue capaz de llevar a cabo dichos experimentos y el francés Alain Aspect (nacido en 1947) fue el primero en comprobar que la balanza se decantaba a favor de la Física Cuántica. Como consecuencia de ello, la década de 1990 ha vivido el renacimiento de la misma, pasando de ser una curiosidad académica a ser el motor del desarrollo de una nueva revolución científica: la Nanociencia, que cambiará en el siglo XXI el futuro de nuestras vidas.

Se adjunta a continuación las siguientes tablas con equivalencia de unidades y valores de constantes físicas para poder resolver los ejercicios siguientes.

Diversas unidades prácticas y su equivalencia en unidades del S.I.

Magnitud	Unidad	Símbolo	Equivalencia
distancia	unidad astronómico año-luz pársec	U.A. a.l.	$1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ $9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$ $3,1 \cdot 10^{16} \text{ m}$
volumen	Litro	L	10^{-3} m^3
masa	tonelada unidad de masa atómica	t u	10^3 kg $1,6606 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
densidad	gramo/centímetro cúbico	g/cm^3	$10^{-3} \text{ kgAm}^{-3}$
fuerza	kilopondio	Kp	9,8 N
energía	Kilowatio-hora electronvoltio caloría atmósfera A litro	kWh eV cal atm A L	$3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ 4,184 J $1,013 \cdot 10^2 \text{ J}$
potencia	caballo de vapor	CV	$7,355 \cdot 10^2 \text{ W}$
presión	atmósfera bar	atm bar	$1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ 10^5 Pa
campo magnético	Gauss	G	10^{-4} T
actividad radiactiva	Curio	Ci	$3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$
dosis de radiación	Rad	Rad	10^{-2} Gy
dosis efectiva	Rem	Rem	10^{-2} Sv

Principales constantes físicas

Magnitud	Símbolo	Valor en el SI
Aceleración de la gravedad en la superficie terrestre al nivel del mar	g_0	$9,8 \text{ m As}^{-2} = 9,8 \text{ NwAkg}^{-1}$
Constante de gravitación universal	G	$6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Nam}^2 \text{Akg}^{-2}$
Constante de Coulomb (en el vacío)	K_0	$9 \cdot 10^9 \text{ Nam}^2 \text{AC}^{-2}$
Permitividad del vacío	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{AN}^{-1} \text{Am}^{-2}$
Permeabilidad del vacío	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N AA}^{-2}$
Constante de Planck	h	$6,626 \cdot 10^{-34} \text{ JAs}$
Velocidad de la luz en el vacío	c	$2,998 \cdot 10^8 \text{ mAs}^{-1}$
Velocidad de propagación del sonido en el aire a 20 °C	v_{sonido}	340 mAs^{-1}
Carga eléctrica elemental	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
Masa del electron	m_e	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ kg} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ u}$
Masa del proton	m_p	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,0073 \text{ u}$
Masa del neutron	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,0087 \text{ u}$
Factor conversión masa-energía		$u = 931,5 \text{ MeVAc}^2$
Constante de Avogadro	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ partículasAmol}^{-1}$
Constante de Rydberg	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
Radio de la Tierra	R_T	$6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$
Cero en la escala Celsius de temperatura	0 EC	273,16 K

Actividades finales

1. Un observador terrestre mide la longitud de una nave espacial que pasa próxima a la Tierra y que se mueve a una velocidad $v < c$, resultando ser L . Los astronautas que viajan en la nave le comunican por radio que la longitud de su nave es L_0 . a) ¿Coinciden ambas longitudes? ¿Cuál es mayor? Razona la respuesta. b) Si la nave espacial se moviese a la velocidad de la luz, ¿cuál sería la longitud que mediría el observador terrestre?

a) No, pues de las ecuaciones de transformación de Lorente y utilizando la terminología del enunciado se deduce que:

$$L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ y como } v < c, \text{ entonces } L_0 > L$$

b) Si $v = c$, resulta que:
$$L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}}} = \frac{L}{\sqrt{1 - 1}} \Rightarrow L = L_0 \cdot \sqrt{0} = 0$$

Físicamente es un resultado imposible de darse, lo cual es una prueba de que c es la máxima velocidad que existe y que no se puede alcanzar en la práctica por cualquier sistema que no sea la luz propagándose en el vacío.

2. En relación con una nave espacial: a) ¿Cuál debería ser la velocidad de esa nave espacial respecto a la Tierra para que un observador situado en la Tierra mida que su longitud es la mitad de lo que mide un observador situado en la nave espacial? b) ¿Cuál sería la energía cinética de la nave espacial si su masa en reposo es 5000 kg?

a)
$$L' = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \Rightarrow L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Como: $L = \frac{L'}{2}$, entonces:
$$\frac{L'}{2} = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{ luego: } \frac{1}{4} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

Por tanto:
$$v = \sqrt{\frac{3}{4}} \cdot c = 2,59 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

b)
$$E_C = (m - m_0) \cdot c^2 \text{ donde: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ luego: } E_C = \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \right) \cdot c^2$$

Por tanto:

$$E_C = \left(\frac{5000 \text{ kg}}{\sqrt{1 - \frac{(2,59 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2}}} - 5000 \text{ kg} \right) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 4,4 \cdot 10^{20} \text{ J}$$

3. Un electrón tiene una energía en reposo de 0,51 MeV. Si el electrón se mueve con una velocidad de $0,8 \cdot c$, calcula su masa relativista, su momento lineal y su energía total. Datos: carga del electrón: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$E_R = m_0 \cdot c^2$. De esta forma:

$$E_R = 0,51 \text{ MeV} = 0,51 \cdot 10^6 \text{ eV} = 0,51 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV} = 8,16 \cdot 10^{-14} \text{ J}$$

$$\text{De esta forma: } 8,16 \cdot 10^{-14} \text{ J} = m_0 \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 \Rightarrow m_0 = 9,06 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{Por tanto: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9,06 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}{\sqrt{1 - \frac{(0,8 \cdot c)^2}{c^2}}} = 15,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

El valor numérico de su momento lineal \vec{p} viene dado por la expresión:

$$p = m \cdot v = 15,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 3,62 \cdot 10^{-22} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$E = m \cdot c^2 = 15,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,36 \cdot 10^{-13} \text{ J}$$

4. ¿Con qué rapidez debe convertirse masa en energía para producir 20 MW?

$$P = 20 \text{ MW} = 20 \cdot 10^6 \text{ W}$$

A partir de la expresión de la potencia, se puede determinar la rapidez con que la masa se convierte en energía: $P = \frac{E}{t}$

$$\text{Ahora: } 20 \cdot 10^6 \text{ W} = \frac{m \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2}{t} \Rightarrow \frac{m}{t} = \frac{20 \cdot 10^6 \text{ W}}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} = 2,2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/s}$$

Luego deben convertirse $2,2 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ de masa en energía cada segundo para producir 20 MW de potencia.

5. Según la teoría de la relatividad, ¿cuál debe ser la velocidad de una varilla para que su longitud sea la tercera parte de la que tiene en reposo?

$$L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{L^2}{L'^2}}, \text{ como: } L = \frac{L'}{3}, \text{ entonces:}$$

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{L^2}{L'^2}} = c \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = c \cdot \sqrt{\frac{8}{9}} = 0,94 \cdot c$$

6. Se determina por métodos ópticos la longitud de una nave espacial que pasa por las proximidades de la Tierra, resultando ser de 100 m. En contacto radiofónico, los astronautas que viajan en la nave comunican que la longitud de su nave es 120 m. ¿A qué velocidad viaja la nave con respecto a la Tierra?

$$L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \Rightarrow v = c \cdot \sqrt{1 - \frac{L^2}{L'^2}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \sqrt{1 - \frac{(100 \text{ m})^2}{(120 \text{ m})^2}} = 1,66 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

7. En qué se parece la no simultaneidad de oír el trueno después de ver el rayo a la no simultaneidad relativista.

No se parece en nada.

La duración entre ver el rayo y escuchar el trueno no tiene nada que ver con los observadores en movimiento ni con la relatividad. En este caso sólo se hacen correcciones al tiempo que tardan las señales (sonido y luz) en llegar a la persona que percibe el fenómeno.

La relatividad de la simultaneidad es una discrepancia genuina entre observaciones hechas por personas en movimiento relativo, y no sólo una disparidad entre distintos tiempos de recorrido para las distintas señales.

8. ¿Se puede considerar la ecuación: $E = m \cdot c^2$ desde otro ángulo y decir que la materia se transforma en energía pura cuando viaja con la rapidez de la luz elevada al cuadrado?

No y es un gran error hacer ese razonamiento.

No se puede hacer que la materia se mueva con la rapidez de la luz y mucho menos a la rapidez de la luz elevada al cuadrado (¡que no es una rapidez!)

La ecuación: $E = m \cdot c^2$ sólo indica que la energía y la masa son dos caras de la misma moneda.

9. El período T de un péndulo situado sobre la Tierra se mide en un sistema de referencia que está en reposo con respecto a la Tierra, encontrándose que es igual a 3,0 s ¿Cuál será el período medido por un observador que esté en una nave espacial moviéndose a una velocidad de $0,95 \cdot c$ con respecto al péndulo?

$$T = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{3,0 \text{ s}}{\sqrt{1 - \frac{(0,95 \cdot c)^2}{c^2}}} = 9,6 \text{ s}$$

Es decir, las medidas realizadas por el observador de la nave muestran que se tarda más en realizar una oscilación en comparación con un observador situado sobre la Tierra.

10. Un astronauta realiza un viaje a la estrella Sirio, situada a 8 años-luz de la Tierra. El astronauta mide que el tiempo del viaje de ida es de 6 años-luz. Si la nave espacial se mueve a una velocidad constante de $0,8 \cdot c$, ¿cómo podemos reconciliar el hecho de que la distancia sea de 8 años-luz con la duración de 6 años medida por el astronauta?

Los 8 años-luz representan la longitud propia (la distancia de la Tierra a Sirio), medida

por un observador que viera tanto a la Tierra como a Sirio en reposo.

El astronauta ve que Sirio se está aproximando a él a la velocidad de $0,8 \cdot c$, pero también ve la distancia que le separa de la estrella está contraída hasta el valor:

$$L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 8 \text{ años luz} \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,8 \cdot c)^2}{c^2}}$$

11. Sea un protón que se mueve a una velocidad v donde se tienen en cuenta los efectos relativistas. Halla: a) Su energía en reposo en MeV. b) Si su energía total es tres veces la del reposo, ¿cuál es el valor de su velocidad v ? c) Su energía cinética. d) El módulo del momento lineal del protón. Datos: masa del protón en reposo $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.

$$a) E_R = m_0 \cdot c^2 = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

$$\text{Luego: } E_R = 1,50 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 937,5 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot \frac{1 \text{ MeV}}{10^6 \text{ eV}} = 937,5 \text{ MeV}$$

$$b) E = m \cdot c^2 = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 3 \cdot m_0 \cdot c^2$$

$$\text{Por tanto: } \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 3 \Rightarrow v = \frac{\sqrt{8}}{3} \cdot c = \frac{\sqrt{8}}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2,83 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$c) E_C = (m - m_0) \cdot c^2 \text{ donde: } m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \text{ luego: } E_C = \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \right) \cdot c^2$$

Luego:

$$E_C = \left(\frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{\sqrt{1 - \frac{(2,83 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2}}} - 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \right) \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2 = 3,03 \cdot 10^{-10} \text{ J}$$

E igualmente:

$$E_C = 3,03 \cdot 10^{-10} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1,89 \cdot 10^9 \text{ eV} \cdot \frac{1 \text{ GeV}}{10^9 \text{ eV}} = 1,89 \text{ GeV}$$

d) El módulo de su momento lineal \vec{p} viene dado por la expresión: $p = m \cdot v$

$$\text{Luego: } v = \frac{p}{m} = \frac{p \cdot c^2}{m \cdot c^2} = \frac{p \cdot c^2}{E}$$

Sustituyendo ahora el valor de v en la ecuación: $E = m \cdot c^2$, resulta:

$$E = \frac{m_0 \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{(\frac{p \cdot c^2}{E})^2}{c^2}}}$$

Operando y despejando E^2 , se obtiene: $E^2 = p^2 \cdot c^2 + (m_0 \cdot c^2)^2$

Como: $E = 3 \cdot m_0 \cdot c^2$ entonces: $(3 \cdot m_0 \cdot c^2)^2 = p^2 \cdot c^2 + (m_0 \cdot c^2)^2$

de donde: $p^2 \cdot c^2 = 8 (m_0 \cdot c^2)^2$

Por tanto: $p = \sqrt{8} \cdot \frac{m_0 \cdot c^2}{c} = \sqrt{8} \cdot \frac{E_R}{c} = \sqrt{8} \cdot \frac{1,50 \cdot 10^{-10} \text{ J}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 1,4 \cdot 10^{-18} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

12.) En qué consiste el efecto fotoeléctrico? Explica su origen y sus principales características y representa la variación de la energía cinética de los fotoelectrones emitidos en función de la frecuencia de la señal luminosa incidente.

El efecto fotoeléctrico consiste en la liberación de electrones de un metal por la acción de la luz, especialmente si tiene una frecuencia elevada.

El origen del efecto fotoeléctrico está en los trabajos que estaba realizando el físico alemán Hertz para tratar de demostrar con experiencias la teoría electromagnética de la luz y de forma fortuita comprobó que la chispa entre dos esferas metálicas cargadas eléctricamente saltaba más fácilmente si éstas eran iluminadas con luz ultravioleta.

Sus principales características son:

11. La energía cinética de los electrones arrancados no depende de la intensidad de la luz incidente y sí es función de la frecuencia de la misma.

21. Para cada metal existe una frecuencia luminosa umbral, llamada ν_0 , por debajo de la cual no se produce la emisión fotoeléctrica.

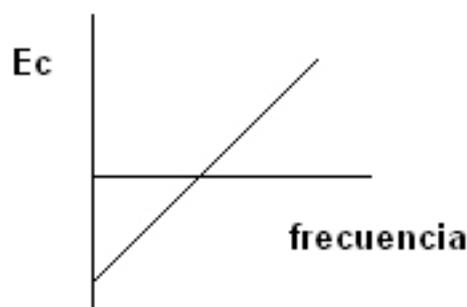
31. Una radiación incidente de frecuencia superior a ν_0 , basta para arrancar electrones, aunque su intensidad luminosa sea muy pequeña.

La ecuación que rige el efecto fotoeléctrico es:

$$E = W_0 + E_C \Rightarrow h \nu = h \nu_0 + 2 m_e \nu^2$$

Por tanto: $E_C = E - W_0 = h \nu - W_0$

Y al representar E_C frente a ν se obtiene la siguiente gráfica:



13. Indica cuál es la respuesta correcta de las siguientes afirmaciones sobre el efecto fotoeléctrico: a) La energía cinética de los electrones emitidos depende de la intensidad de la luz incidente. b) La energía de extracción no depende del metal. c) Hay una frecuencia mínima para la luz incidente. d) Al aumentar la frecuencia de la radiación incidente disminuye la energía cinética de los electrones emitidos.

La respuesta correcta es la c)

14. En el contexto del efecto fotoeléctrico, ¿qué se entiende por trabajo de extracción del metal de la placa a iluminar? Supuesto conocido el valor del trabajo de extracción, ¿cómo se puede determinar la frecuencia umbral?

Como el fotón es el cuanto de radiación que interacciona con los electrones del metal y el efecto fotoeléctrico se explica por la existencia de fotones de energía suficiente para arrancar los electrones del metal. Parte de la energía del fotón se emplea en arrancar el electrón del metal y el resto se convierte en energía cinética del electrón libre.

Se llama energía de extracción del metal, W_0 (también conocida como trabajo de extracción) a la energía que hay que transferir al metal para poder arrancar un electrón del mismo.

Si E es la energía del fotón que incide sobre el metal y que recibe el electrón, de acuerdo con el principio de conservación de la energía, $E - W_0$ es la energía cinética E_C del electrón que escapa.

Como: $E - W_0 = E_C$ resulta que: $h \nu_0 - W_0 = 0 \Rightarrow \nu_0 = \frac{W_0}{h}$, donde ν_0 es la frecuencia umbral.

Luego si incide una radiación de frecuencia mayor que la umbral, $\nu > \nu_0$, se arrancan electrones de cierta energía cinética, y dicha energía cinética será mayor cuanto mayor sea la frecuencia ν de la radiación incidente.

15. Si el trabajo de extracción de la superficie de determinado material es $W_0 = 2,07 \text{ eV}$: a) ¿Qué rango de longitudes de onda del espectro visible puede utilizarse con este material en una célula fotoeléctrica, sabiendo que las longitudes de onda de la luz visible están comprendidas entre 380 nm y 775 nm. b) Calcula la velocidad de extracción de los electrones emitidos para una longitud de onda de 400 nm.

a) La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico es: $E = W_0 + E_C$

La relación entre el trabajo de extracción y la longitud de onda umbral es:

$$W_0 = h \cdot \nu_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0} \Rightarrow \lambda_0 = \frac{h \cdot c}{W_0} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,07 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}} = 600 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 600 \text{ nm}$$

El efecto fotoeléctrico se produce para las longitudes de onda menores que la umbral. Por tanto dentro del espectro visible, se arrancan electrones para las longitudes de onda comprendidas entre 380 nm y 600 nm.

b) Volviendo a aplicar la ecuación de Einstein, se tiene que:

$$h \frac{c}{\lambda} = h \frac{c}{\lambda_0} + \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow h c \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = \frac{1}{2} m \cdot v^2. \text{ Por tanto:}$$

$$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \left(\frac{1}{400 \cdot 10^{-9} \text{ m}} - \frac{1}{600 \cdot 10^{-9} \text{ m}} \right) = \frac{1}{2} 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot v^2$$

De donde despejando v se obtiene: $v = 6,03 \cdot 10^5 \text{ m/s}$

16. Determina la frecuencia de la onda asociada a un fotón con 200 MeV de energía y calcula su longitud de onda y su momento lineal.

Aplicando la ecuación de Planck, resulta que: $E = h \cdot \nu$, luego:

$$\nu = \frac{E}{h} = \frac{200 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}} = 4,8 \cdot 10^{22} \text{ s}^{-1}$$

Utilizando la relación entre las diferentes magnitudes, se tiene que la longitud de onda asociada es:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{4,8 \cdot 10^{22} \text{ s}^{-1}} = 6,25 \cdot 10^{-15} \text{ m}$$

Según la hipótesis de De Broglie, el momento lineal del fotón como partícula es:

$$\lambda = \frac{h}{p} \Rightarrow p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{6,25 \cdot 10^{-15} \text{ m}} = 1,06 \cdot 10^{-19} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

17. Un equipo láser de 630 nm de longitud de onda, concentra 10 mW de potencia en un haz de 1 mm de diámetro. a) Deduce y determina el valor de la intensidad del haz en este caso. b) Halla el número de fotones que el equipo emite en cada segundo.

a) Se denomina intensidad de una onda en un punto, I , a la energía que se propaga a través de la unidad de superficie perpendicularmente a la dirección de propagación en la unidad de tiempo. Como la energía propagada en la unidad de tiempo es la potencia con que emite el foco, se cumple que:

$$I = \frac{E}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{P}{\Delta S} = \frac{P}{\pi \cdot r^2} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ W}}{\pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2} = 1,27 \cdot 10^4 \text{ W/m}^2$$

b) Utilizando la definición de potencia, la energía que concentra el haz en la unidad de tiempo es:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow E = P \cdot \Delta t = 10 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot 1 \text{ s} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Aplicando la ecuación de Planck resulta que la energía de un fotón de esa longitud de onda es:

$$E_{\text{fotón}} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{630 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,16 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Por lo que la cantidad de fotones emitidos en un segundo es:

$$n = \frac{E}{E_{\text{fotón}}} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{3,16 \cdot 10^{-19} \text{ J/fotón}} = 3,16 \cdot 10^{16} \text{ fotones}$$

18. Un láser de helio-neón de 3 mW de potencia emite luz monocromática de longitud de onda $\lambda = 632,8 \text{ nm}$. Si se hace incidir un haz de este láser sobre la superficie de una placa metálica cuya energía de extracción es 1,8 eV: a) Calcula el número de fotones que inciden sobre el metal transcurridos 3 segundos. b) La velocidad de los fotoelectrones extraídos y el potencial que debe adquirir la placa (potencial de frenado) para que cese la emisión de electrones.

a) Aplicando la definición de potencia y la ley de Planck:

$$n = \frac{\text{Energía emitida}}{\text{Energía fotón}} = \frac{P \cdot t}{h \cdot \nu} = \frac{P \cdot t}{h \cdot \frac{c}{\lambda}} = \frac{P \cdot t \cdot \lambda}{h \cdot c}, \text{ luego:}$$

$$n = \frac{3 \cdot 10^{-3} \text{ J/s} \cdot 3 \text{ s} \cdot 632,8 \cdot 10^{-9} \text{ m}}{6,6310^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2,86 \cdot 10^{16} \text{ fotones}$$

b) La energía de la radiación incidente es: $E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$, luego:

$$E = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{632,8 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ eV}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 1,96 \text{ eV}$$

Aplicando la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico, se tiene:

$$E = W_0 + E_C \Rightarrow 1,96 \text{ eV} = 1,8 \text{ eV} + E_C$$

Por tanto la energía cinética de los electrones emitidos es: $E_C = 0,16 \text{ eV}$

Como: $E_C = V_0 \cdot e$, resulta que el potencial de detención o frenado que impide que lleguen los electrones al ánodo es:

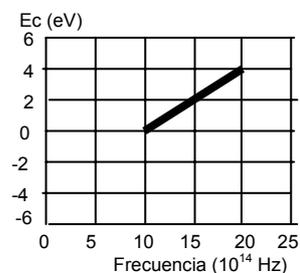
$$V_0 = 0,16 \text{ V}$$

Aplicando la definición de energía cinética, resulta que la velocidad de los electrones es:

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$\text{luego: } 0,16 \text{ eV} \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}} = \frac{1}{2} \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot v^2 \Rightarrow v = 2,37 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

19. La gráfica adjunta representa la energía cinética de los electrones emitidos por un metal en función de la frecuencia de la luz incidente. Deduce el valor de la constante de Planck y de la energía de extracción del metal.



La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico es:

$$E = W_0 + E_C \Rightarrow h \cdot \nu = h \cdot \nu_0 + E_C$$

Despejando la energía cinética de los electrones emitidos, resulta que: $E_C = h(\nu - \nu_0)$

Al representar gráficamente la energía cinética de los electrones frente a la frecuencia de la radiación incidente, se tiene que la pendiente de la gráfica es la constante h de Plack:

$$pendiente = \frac{\Delta E_C}{\Delta \nu} = h, \text{ luego:}$$

$$pendiente = \frac{\Delta E_C}{\Delta \nu} = \frac{4 \text{ eV} - 0 \text{ eV}}{20 \cdot 10^{14} \text{ Hz} - 10 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = \frac{4 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}}{10 \cdot 10^{14} \text{ Hz}} = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Por tanto, el valor de h hallado en la gráfica es: $h = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

La frecuencia umbral es aquella para la que la energía cinética de los electrones emitidos es igual a cero. De la representación gráfica se deduce que su valor es:

$$\text{Frecuencia umbral: } \nu_0 = 10 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Por lo que la energía de extracción del metal es:

$$W_0 = h \cdot \nu_0 = 6,4 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 10 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 6,4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

20. Al iluminar un metal con luz monocromática de frecuencia $1,2 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$, es necesario aplicar un potencial de frenado de 2 V para anular la corriente que se produce. Calcula la frecuencia mínima que ha de tener la luz para extraer electrones de dicho metal. ¿Se produce efecto fotoeléctrico al iluminar el metal con una radiación de 500 nm ?

Que el potencial de frenado sea 2 V significa que la energía cinética de los electrones emitidos es igual a: $E_C = 2 \text{ eV}$.

Aplicando la ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico, resulta que:

$$E = W_0 + E_C \Rightarrow h \cdot \nu = h \cdot \nu_0 + E_C, \text{ de esta forma:}$$

$$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 1,2 \cdot 10^{15} \text{ Hz} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \nu_0 + 2 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}$$

Despejando, se obtiene que la frecuencia umbral es: $\nu_0 = 7,2 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

A la radiación de 500 nm en el vacío le corresponde una frecuencia de:

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

Como esta frecuencia es menor que la frecuencia umbral, no se produce efecto fotoeléctrico al iluminar el metal con esa radiación.

21. Una antena de telefonía móvil emite una radiación de 900 MHz, con una potencia de 1500 W. Calcula la longitud de onda de la radiación emitida. ¿Cuál es el valor de la intensidad de la radiación a una distancia de 50 m de la antena. ¿Cuántos fotones emite la antena en 1 s?

Utilizando la relación entre la longitud de onda y la frecuencia de la onda electromagnética resulta:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{900 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 0,33 \text{ m}$$

Se denomina intensidad de una onda en un punto, I , a la energía que se propaga a través de la unidad de superficie perpendicularmente a la dirección de propagación en la unidad de tiempo. Como la energía propagada en la unidad de tiempo es la potencia con que emite el foco y aplicándolo para una esférica, resulta:

$$I = \frac{E}{\Delta S \cdot \Delta t} = \frac{P}{\Delta S} = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{1500 \text{ W}}{4 \cdot \pi \cdot (50 \text{ m})^2} = 0,048 \text{ W/m}^2$$

Aplicando la ecuación de Planck resulta que la energía de un fotón de esa longitud de onda es: $E_{\text{fotón}} = h \cdot \nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot 900 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 5,97 \cdot 10^{-25} \text{ J}$

Por lo que la cantidad de fotones emitidos en un segundo es:

$$n = \frac{P}{E_{\text{fotón}}} = \frac{1500 \text{ J/s}}{5,97 \cdot 10^{-25} \text{ J/fotón}} = 2,51 \cdot 10^{27} \text{ fotones/s}$$

22. Admitiendo que el protón en reposo tiene una masa 1836 veces mayor que la del electrón en reposo, ¿qué relación existirá entre las longitudes de onda de De Broglie de las dos partículas si se mueven con la misma energía cinética y considerando despreciables los efectos relativistas?

La longitud de onda asociada a una partícula es: $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} \Rightarrow m \cdot v = \frac{h}{\lambda}$

Y su energía cinética es: $E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$

$$\text{Operando en esta ecuación: } E_C = \frac{1}{2} \frac{m^2 \cdot v^2}{m} = \frac{1}{2} \frac{h^2 / \lambda^2}{m} = \frac{1}{2} \frac{h^2}{m \cdot \lambda^2}$$

Si la energía cinética de las dos partículas son iguales, resulta que: $E_{C,p} = E_{C,e}$, luego:

$$\frac{1}{2} \frac{h^2}{m_p \cdot \lambda_p^2} = \frac{1}{2} \frac{h^2}{m_e \cdot \lambda_e^2} \Rightarrow m_p \cdot \lambda_p^2 = m_e \cdot \lambda_e^2$$

$$\text{Operando: } \frac{\lambda_e}{\lambda_p} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}} = \sqrt{\frac{1836 \cdot m_e}{m_e}} = 42,85$$

La longitud de onda asociada al electrón es aproximadamente 43 veces mayor que la longitud de onda asociada al protón.

23. ¿Qué velocidad ha de tener un electrón para que su longitud de onda de De Broglie sea 200 veces la correspondiente a un neutrón de energía cinética 6 eV? ¿Se puede considerar que el electrón a esa velocidad es no relativista? Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_n = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Utilizando la definición de energía cinética: $E_C = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ se calcula la velocidad del neutrón:

$$v_n = \sqrt{\frac{2 \cdot E_C}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J/eV}}{1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 3,4 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Aplicando la hipótesis de De Broglie, la longitud de onda asociada es:

$$\lambda_n = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 3,4 \cdot 10^4 \text{ m/s}} = 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

La longitud de onda asociada al electrón es:

$$\lambda_e = 200 \cdot \lambda_n = 200 \cdot 1,2 \cdot 10^{-11} \text{ m} = 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$$

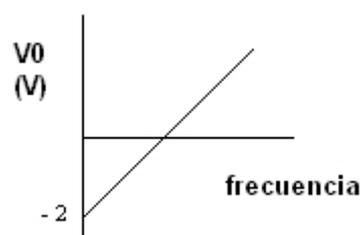
$$\text{Y su velocidad es: } \lambda_e = \frac{h}{m \cdot v_e} \Rightarrow v_e = \frac{h}{m \cdot \lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 3,1 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

Que comparada con la velocidad de la luz resulta que es:

$$\frac{3,1 \cdot 10^5 \text{ m/s}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} \cdot 100 = 0,1\% \text{ de la velocidad de la luz, por lo que sí se pueden despreciar}$$

los efectos relativistas.

24. La gráfica de la figura representa el potencial de frenado, V_0 , de una célula fotoeléctrica en función de la frecuencia de la luz incidente. La ordenada en el origen tiene el valor de -2 V. a) Deduce la expresión teórica de V_0 en función de ν . b) ¿Qué parámetro característico de la célula fotoeléctrica podemos determinar a partir de la ordenada en el origen y determina el valor. c) ¿Qué valor tendrá la pendiente de la recta de la figura.



a) La ecuación de Einstein del efecto fotoeléctrico se puede escribir como:

$$E = W_0 + E_C \text{ e igualmente: } E = W_0 + e \cdot V_0 \Rightarrow h \cdot \nu = W_0 + e \cdot V_0$$

$$\text{Despejando: } V_0 = \frac{h \cdot \nu}{e} - \frac{W_0}{e}$$

b) Del valor de la ordenada en el origen se calcula el trabajo de extracción y la frecuencia umbral de emisión de electrones: $-2V = -\frac{W_0}{e}$

$$\text{Luego: } W_0 = 2 \text{ V} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Y la frecuencia umbral: } \nu_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}} = 4,82 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\text{c) La pendiente de la recta es: } \textit{pendiente} = \frac{h}{e} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 4,14 \cdot 10^{-15} \text{ V}\cdot\text{s}$$

25. Halla la longitud de onda de las dos primeras líneas obtenidas por la ecuación de Balmer del espectro del átomo de hidrógeno, sabiendo que la constante de Rydberg R tiene el valor de $1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$.

$$\text{Se cumple la siguiente ecuación: } \frac{1}{\lambda} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Donde la primera línea del espectro es aquella en la que $n = 3$, de forma que:

$$\frac{1}{\lambda_1} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) \Rightarrow \lambda_1 = 656,3 \text{ A}10^{-9} \text{ m} = 656,3 \text{ nm.}$$

Repitiendo los cálculos para $n = 4$ se obtiene la segunda línea, de forma que:

$$\frac{1}{\lambda_2} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \Rightarrow \lambda_2 = 486,2 \text{ A}10^{-9} \text{ m} = 486,2 \text{ nm}$$

26. Determina la longitud de onda de un electrón que se ha puesto en movimiento mediante la aplicación de un campo eléctrico de 100 V.

El electrón al ser puesto en movimiento adquiere una energía cinética y por tanto una velocidad que viene dada por la ecuación: $e \Delta V = \frac{1}{2} m v^2$, con lo que la velocidad del mismo es:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot e \cdot V}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 100 \text{ V}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 5,9 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

Comparando v con c podemos despreciar los efectos relativistas, luego la longitud de onda del electrón es:

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 5,9 \cdot 10^6 \text{ m/s}} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Test de evaluación

1. En una carrera de 100 m, el atleta A realiza su carrera en 9,89 s y el atleta B en 9,75 s. Si la pista del atleta B es paralela a la del A, pero desplazada 300 m y los atletas salen de sus marcas cuando oyen el pistoletazo de salida, suponiendo que la que velocidad del sonido es 330 m/s, quien llega antes a la meta: a) El atleta A. b) El atleta B. c) Ninguno por ser salida nula. d) Los dos a la vez.

El origen del problema está en que el pistoletazo que marca la salida es oído un tiempo después por el segundo corredor que está separado del primero 300 m. Por ello el primer corredor sale antes y por esta ventaja llega antes a la meta, aunque el segundo corredor realice su carrera en menos tiempo.

Si la velocidad del sonido en las circunstancias del momento de la carrera es 330 m/s, por tanto el pistoletazo de salida es oído por el segundo atleta cuando corre por la pista que está separada 300 m de la primera:

$$s = v \cdot t_{\text{sonido}} \Rightarrow t_{\text{sonido}} = \frac{s}{v} = \frac{300 \text{ m}}{330 \text{ m/s}} = 0,91 \text{ s}$$

Si el atleta A realiza su carrera de 100 m en 9,89 s y el corredor B en 9,75 s, supongamos para simplificar los cálculos que toda la carrera se hace a la velocidad media obtenida a partir de dichas marcas, de esta forma:

$$\text{El corredor A tiene una velocidad media de: } v_A = \frac{s}{t} = \frac{100 \text{ m}}{9,89 \text{ s}} = 10,11 \text{ m/s}$$

$$\text{El corredor B tiene una velocidad media de: } v_B = \frac{s}{t} = \frac{100 \text{ m}}{9,75 \text{ s}} = 10,26 \text{ m/s}$$

El corredor A, antes de que salga el corredor B, ha recorrido una distancia de:

$$s_1 = v_A \cdot t_{\text{sonido}} = 10,11 \text{ m/s} \cdot 0,91 \text{ s} = 9,20 \text{ m} \text{ y es la ventaja que lleva al atleta B.}$$

Por tanto, cuando el atleta A llega a la meta, el corredor B ha estado corriendo un tiempo igual a: $9,89 \text{ s} - 0,91 \text{ s} = 8,98 \text{ s}$ y en este tiempo ha recorrido una distancia de:

$$s_2 = v_B \cdot 8,98 \text{ s} = 10,26 \text{ m/s} \cdot 8,98 \text{ s} = 92,13 \text{ m} \text{ y se encuentra de la meta a una distancia de } 100 \text{ m} - 92,13 \text{ m} = 7,87 \text{ m}$$

Luego la respuesta correcta es la: a) Llega antes a la meta el atleta A.

Lógicamente este problema no existiría si los dos atletas corren en la misma pista y oyen el pistoletazo de salida a la vez, y en este caso el corredor B llega antes a la meta y le saca la siguiente ventaja al A:

$$s_3 = v_A \cdot 9,75 \text{ s} = 10,11 \text{ m/s} \cdot 9,75 \text{ s} = 98,57 \text{ m. Por tanto, el atleta B saca una ventaja al corredor A de: } 100 \text{ m} - 98,57 \text{ m} = 1,43 \text{ m.}$$

2. Que la energía esté _____ significa que puede tomar valores _____, es decir _____.

La respuesta correcta es:

Que la energía esté cuantizada significa que puede tomar valores discretos, es decir, no continuos.

3. Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. a) Toda teoría científica es sólo una aproximación a la realidad. b) El segundo postulado de Einstein de la teoría de la relatividad especial es consecuencia del primero. c) La catástrofe del infrarrojo es una consecuencia de la aplicación de la Física Clásica. d) La palabra cuanto designa la cantidad elemental de energía.

a) Toda teoría científica es sólo una aproximación a la realidad es verdadera. En la ciencia no hay verdades absolutas, todo está sometido a validación y contraste.

b) El segundo postulado de Einstein de la teoría de la relatividad especial es consecuencia del primero es verdadero porque es necesario para que se pueda admitir el cumplimiento del primer postulado.

c) La catástrofe del infrarrojo es una consecuencia de la aplicación de la Física Clásica es falso, la catástrofe es la del ultravioleta, que es una consecuencia de la aplicación de la Física Clásica.

d) La palabra cuanto designa la cantidad elemental de energía es verdadero, pues es precisamente la definición de cuanto.

4. La nanociencia estudia la materia a escala de: a) 10^{-3} m. b) 10^{-6} m. c) 10^{-9} m. d) 10^{-12} m.

La respuesta correcta es la c) A escala de 10^{-9} m.

5. Indica si las siguientes afirmaciones relativas al principio de incertidumbre de Heisenberg son verdaderas o falsas: a) Tiene que ver con la precisión de la medida. b) Se refiere a la medida simultánea del tiempo y la posición. c) De la fuerza y la energía. d) De la posición y el momento lineal.

a) Tiene que ver con la precisión de la medida es falsa, ni depende ni de la calidad ni de la precisión de la medida del instrumento utilizado.

b) Se refiere a la medida simultánea del tiempo y la posición es falsa, pues ambas magnitudes no son conjugadas respecto de las relaciones de incertidumbre.

c) De la fuerza y la energía es falsa, pues ambas magnitudes no son conjugadas respecto de las relaciones de incertidumbre.

d) De la posición y el momento lineal es verdadera, pues ambas magnitudes son conjugadas respecto de las relaciones de incertidumbre.

6. La longitud de onda asociada a un electrón de velocidad 200000 km/s es: a) $3,6 \cdot 10^{12}$ m. b) $3,6 \cdot 10^{12}$ km. c) $3,6 \cdot 10^{-12}$ m. d) $3,6 \cdot 10^{-12}$ km.

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 3,6 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Luego la respuesta correcta es la c).

7. El efecto _____ consiste en la _____ de _____ de un _____ por la acción de la _____.

La respuesta correcta es: El efecto fotoeléctrico consiste en la liberación de electrones de un metal por la acción de la luz.

8. La frecuencia de un oscilador microscópico cuyo cuanto de energía es $5,3 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ tiene el valor: a) $7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. b) $8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. c) $7 \cdot 10^{14} \text{ s}$. d) $8 \cdot 10^{14} \text{ s}$.

$$E = h \cdot \nu = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \cdot \nu \Leftrightarrow 5,3 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \nu \Leftrightarrow \nu = 8 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Luego la respuesta correcta es la b).

9. La masa de una persona en reposo es 70 kg y vuela en una supuesta nave espacial a la velocidad $v = 0,9 c$, por lo que su masa es: a) 70 kg. b) 140 kg. c) 60,6 kg d) 160,6 kg.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{70 \text{ kg}}{\sqrt{1 - \frac{(0,9 \cdot c)^2}{c^2}}} = 160,6 \text{ kg}$$

Luego la respuesta correcta es la d).

10. Sean dos gemelos A y B. A está en la Tierra y B va y vuelve a una estrella que está a 5 años-luz de la Tierra, con una velocidad $v = 0,8 c$, por lo que A detecta que B a su regreso a la Tierra ha envejecido: a) 7,5 años. b) 12,5 años. c) Ambos lo mismo. d) 10 años.

Como el año-luz es la distancia recorrida en un año por la luz, entonces para el gemelo A, que se encuentra en la Tierra, el tiempo transcurrido es:

$$T = \frac{2 \cdot 5 \text{ años} \cdot c}{0,8 \cdot c} = 12,5 \text{ años}$$

El tiempo transcurrido para B es:

$$T' = T \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 12,5 \text{ años} \cdot \sqrt{1 - \frac{(0,8 \cdot c)^2}{c^2}} = 7,5 \text{ años}$$

El gemelo A detecta que su hermano B en lugar de envejecer 12,5 años (que es lo que envejece él mismo) envejece 7,5 años, luego la respuesta correcta es la a).