

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Explica brevemente en qué consiste el método hipotético deductivo aplicado en el conocimiento de las ciencias experimentales.
- b) **(0.5 puntos)** Explica el significado de la siguiente ecuación de Maxwell:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int_S (\vec{J} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Define eventos relacionados causalmente. La relación entre los intervalos de tiempo transcurridos entre dos sucesos en dos sistemas de referencia O y O' es

$$t'_2 - t'_1 = \gamma(t_2 - t_1) - \frac{\gamma u}{c^2}(x_2 - x_1).$$

Deduce a partir de esa expresión la condición de relación causal entre dos eventos.

- b) **(0.5 puntos)** Dibuja de forma esquemática las curvas de radiancia espectral de un cuerpo negro en función de la frecuencia a las temperaturas de 1000 K, 1500 K y 2000 K. Comenta qué sucede con el máximo de las curvas conforme aumenta la temperatura.

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** Los valores de energía permitidos para una partícula en una caja unidimensional son

$$E = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2mL^2}$$

donde L es la longitud de la caja. ¿Cuál es el valor mínimo de energía que puede tomar la partícula? Razona en términos del Principio de Incertidumbre por qué este valor no puede ser nulo.

- b1) **(0.5 puntos)** Explica en términos de la teoría de bandas las diferencias entre un material aislante, un semiconductor y un conductor. Un material que tenga su banda de valencia completamente llena y su banda de conducción vacía y ambas estén separadas una energía de 1eV, ¿qué tipo de material será a temperatura ambiente?
- b2) **(0.5 puntos)** Describe los tres tipos de emisiones radiactivas en términos de los números atómicos Z y másicos A de los productos y los reactivos. Si observamos que un cierto tipo de emisión radiactiva atraviesa 3 cm de una pared de plomo, ¿de qué tipo de emisión se tratará?

Nota: El alumno deberá resolver sólo uno de los dos apartados b1 ó b2.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Explica razonadamente la diferencia entre un material ferromagnético duro y otro blando y justifica las aplicaciones de ambos.
- b) **(0.5 puntos)** Un trozo de magnetita (imán natural) tiene forma de cilindro hueco. Justificar que el campo magnético en la dirección del eje es nulo.

PROBLEMAS

1.- Desde un sistema de referencia fijo en el laboratorio (O) se observa un experimento en el que un mesón μ (muón) se mueve con velocidad $0.5c$ (en el sentido positivo del eje X) y un electrón se mueve con velocidad $-0.6c$ (en el sentido negativo del eje X) respecto a dicho sistema de referencia O. Se pide:

- (0.75 puntos)** la velocidad y energía cinética del electrón respecto al muón según la Cinemática clásica.
- (1.25 puntos)** la velocidad y energía cinética del electrón respecto al muón según la Cinemática relativista. Compare y comente los resultados de los apartados a) y b).

Datos: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $m_\mu = 207m_e$.

2.- Una radiación cuya energía es 216 keV experimenta una difusión Compton con un ángulo de dispersión de 60° . Se pide:

- (1 punto)** la energía cinética máxima que puede tener el electrón de retroceso
- (1 punto)** después de transferir la máxima energía posible al electrón, la radiación dispersada se somete a un proceso para reducir su energía hasta un 0.01% de su valor tras la dispersión. A continuación se hace incidir sobre un material del que extrae electrones por efecto fotoeléctrico con una energía cinética máxima de 7.5 eV. Determinar la frecuencia umbral del material.

3.- Un condensador de láminas plano paralelas de 2 nF de capacidad se carga mediante una diferencia de potencial inicial de 100 V. El material dieléctrico entre las placas es mica, cuya constante dieléctrica es 5. Si el condensador una vez cargado se aísla, calcular:

- (0.75 puntos)** La carga ligada o inducida.
- (0.25 puntos)** La susceptibilidad eléctrica.
- (0.75 puntos)** El trabajo necesario para retirar la mica de entre las láminas del condensador.
- (0.25 puntos)** La nueva diferencia de potencial entre las láminas del condensador después de haber retirado la mica.

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Comenta cuál es el valor de la siguiente expresión $1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0}$ y qué repercusiones tuvo este resultado en el conocimiento de la naturaleza de la luz.
- b) **(0.5 puntos)** Razona cuál es el valor de la masa en reposo de un ente que se mueva a la velocidad de la luz.

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Una cierta radiación tiene una energía de 0.1 MeV y se hace incidir sobre un blanco de aluminio (función trabajo $W_0 = 4.2$ eV). ¿Se producirá el efecto fotoeléctrico o el efecto Compton? Razona la respuesta.
- b) **(0.5 puntos)** Sea $\psi(x)$ la solución de la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo asociada a una partícula en una cierta región del espacio. Determina el valor de la siguiente integral y razona el resultado:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x,t)\psi(x,t)dx$$

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** Define cuerpo negro. Explica las diferencias entre los espectros de emisión de dos cuerpos negros distintos a la misma temperatura. Razona por qué una cavidad con un pequeño orificio puede ser asimilado a un cuerpo negro.
- b1) **(0.5 puntos)** Explica en términos de la teoría de bandas las diferencias entre un material aislante, un semiconductor y un conductor. Un material que tenga su banda de valencia completamente llena y su banda de conducción vacía y ambas estén separadas una energía de 10eV, ¿qué tipo de material será a temperatura ambiente?
- b2) **(0.5 puntos)** Describe los tres tipos de emisiones radiactivas en términos de los números atómicos Z y másicos A de los productos y los reactivos. Si observamos que un cierto tipo de emisión radiactiva pasa sin desviarse por una región en la que existe un campo eléctrico uniforme, ¿de qué tipo de emisión se tratará?

Nota: El alumno deberá resolver sólo uno de los dos apartados b1 ó b2.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Explica la diferencia entre los fenómenos de diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo. Describe la diferencia en los valores de la susceptibilidad magnética de cada material.
- b) **(0.5 puntos)** Un imán atrae a un trozo de hierro. El hierro puede, entonces, atraer a otra pieza de hierro. Basándose en la alineación de dominios, explica qué sucede en cada pieza de hierro.

PROBLEMAS

1.- Considérese el proceso de desintegración de un mesón π (pión) en un sistema de referencia en reposo respecto al pión (O'). En ese sistema, el proceso dura en promedio un tiempo de $2.5 \cdot 10^{-8}$ s. Se desea observar el fenómeno desde un sistema de referencia (O) respecto al cual el pión no está en reposo, sino que se mueve con una velocidad tal que su energía cinética es 2.5 veces su energía en reposo. Se pide:

- (**1.25 puntos**) la distancia recorrida por el pión respecto al sistema de referencia O antes de desintegrarse.
- (**0.75 puntos**) la energía total del pión respecto a O y a O' en el momento de su desintegración.

2.- Considérese un átomo en el que un muón (partícula de carga igual a la del electrón y masa 207 veces mayor) orbita en órbitas circulares respecto a un núcleo formado por un protón. La fuerza de atracción entre ambas partículas es de la forma:

$$F = -\frac{e^2}{r^{3/2}}$$

donde e es la carga del electrón y r la distancia entre las dos partículas. Haciendo uso de los postulados de Bohr, se pide determinar en términos de las constantes \hbar , e y m_e :

- (**0.75 puntos**) los valores permitidos para los radios de las órbitas
- (**1.25 puntos**) los valores permitidos para la energía total.

3.- Un condensador de placas plano paralelas se construye utilizando un material dieléctrico cuya constante dieléctrica es 3 y cuyo campo de ruptura es $2 \cdot 10^8$ V/m. Se desea una capacidad de $0.250 \mu\text{F}$ y el condensador debe ser capaz de soportar una diferencia de potencial máxima de 4000 V. Calcular:

- (**0.5 puntos**) La superficie mínima que deben tener las placas del condensador
- (**0.5 puntos**) La densidad de carga ligada o de polarización
- (**0.5 puntos**) La densidad de carga libre
- (**0.5 puntos**) El cambio de energía que tiene lugar al extraer el dieléctrico

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Explique brevemente en qué consiste el método hipotético deductivo aplicado en el conocimiento de las ciencias experimentales.
- b) **(0.5 puntos)** Explique el significado de la siguiente ecuación de Maxwell:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \varepsilon = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$$

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Los mesones μ (muones) son unas partículas que se generan en la alta atmósfera por el impacto de los rayos cósmicos (núcleos de H muy rápidos) con las partículas de la alta atmósfera (núcleos de N y O). Dichas partículas tienen una vida media en reposo de $2\mu\text{s}$ y, dado que se generan a unos 9000m sobre la superficie terrestre, muy pocos deberían detectarse a nivel del mar. Sin embargo, medidas experimentales confirman la presencia de un número apreciable de estas partículas a nivel del mar. Explique este hecho, sabiendo que los muones se mueven a una velocidad de $0.9978c$.
- b) **(0.5 puntos)** Considere la reacción en la que el núcleo de ^{216}Po ($3.5867 \cdot 10^{-25}$ kg) se desintegra para formar un núcleo de ^{212}Pb ($3.5201 \cdot 10^{-25}$ kg) y una partícula alfa, un núcleo de ^4He ($6.6470 \cdot 10^{-27}$ kg). Razone y justifique si dicha reacción será espontánea o no y calcule la energía puesta en juego en la misma con indicación de si es liberada o absorbida.

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** Comente alguno de los fenómenos relativos al efecto fotoeléctrico que no era posible explicar por medio de la teoría ondulatoria. Comente asimismo la explicación a dicho fenómeno que ofreció la teoría corpuscular de Einstein.
- b) **(0.5 puntos)** Enuncie el Principio de Incertidumbre de Heisenberg. Razone por qué las predicciones de dicho principio pasan desapercibidas en el mundo cotidiano (macroscópico).

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Explique razonadamente la diferencia entre un material ferromagnético duro y otro blando y justifique las aplicaciones de ambos.
- b) **(0.5 puntos)** Un trozo de magnetita (imán natural) tiene forma de cilindro hueco. Justifique que el campo magnético en la dirección del eje es nulo.

PROBLEMAS

1.-

- a) **(1 punto)** Determine hasta qué temperatura hay que calentar un cuerpo negro que inicialmente se encuentra a 150°C para que se duplique la energía radiada por el mismo.
- b) **(1 puntos)** Determine el número cuántico principal correspondiente al estado excitado de un átomo de hidrógeno si al pasar al estado fundamental emite consecutivamente dos fotones de longitudes de onda 488'7 nm y 121'6 nm (en ese orden).

Dato: La constante de Rydberg tiene el valor $R_H = 10967757'6 \text{ m}^{-1}$.

2.- La función de onda de un electrón dentro de un pozo de potencial infinito unidimensional de longitud L con origen en $x=0$ es:

$$\varphi(x) = A \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

- a) **(1 punto)** Mediante la condición de normalización de la función de onda, determine el valor de la constante A .
- b) **(1 punto)** Determine la probabilidad de localizar al electrón entre los puntos $x=0$ y $x=L/3$.

Ayuda: Para realizar las integrales correspondientes, aplique la relación trigonométrica

$$\text{sen}^2 \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\alpha)$$

3.- Un condensador de láminas plano paralelas de 2 nF de capacidad se carga mediante una diferencia de potencial inicial de 100 V. El material dieléctrico entre las placas es mica, cuya constante dieléctrica es 5. Si el condensador una vez cargado se aísla, calcule:

- a) **(0.5 puntos)** La carga ligada o inducida.
- b) **(0.5 puntos)** La carga libre.
- c) **(0.5 puntos)** El trabajo necesario para retirar la mica de entre las láminas del condensador.
- d) **(0.5 puntos)** La nueva diferencia de potencial entre las láminas del condensador después de haber retirado la mica.

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Explica brevemente qué repercusión tuvo en el conocimiento de la naturaleza de la luz el experimento de Foucault en el que determinó que la velocidad de la luz era menor en el agua que en el aire.
- b) **(0.5 puntos)** La cuarta ecuación de Maxwell tiene la forma:

$$\int_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int_S \left(\vec{J} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) \cdot d\vec{S}$$

El primer término del segundo miembro se corresponde con la ley de Ampère, pero el segundo fue introducido por Maxwell. Comenta brevemente alguna situación experimental en la que se evidencie la necesidad de incluir el segundo término de la ecuación.

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Razona qué cambios cabría esperar en la emisión fotoeléctrica de una superficie metálica: i) al aumentar la intensidad de la luz incidente; ii) al aumentar el tiempo de iluminación; iii) al disminuir la frecuencia de la luz incidente.
- b) **(0.5 puntos)** Dibuja esquemáticamente y comenta las gráficas que se obtendrían al representar la intensidad de la radiación dispersada en un experimento Compton frente a la longitud de onda para diferentes ángulos de dispersión.

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** En la presentación de su disco Principio de Incertidumbre (2003), el cantautor Ismael Serrano se refería a dicho Principio en los siguientes términos: “En 1927, un matemático formuló el Principio de Incertidumbre. Venía a decir algo así como que nada se puede predecir con exactitud, siempre queda un margen de incertidumbre en el conocimiento humano (...). El Principio está relacionado con el hecho de que el observador, por el mero hecho de ser testigo, influye en la realidad que está observando, la altera, introduce una variable de indeterminación”. Comenta críticamente el anterior fragmento.
- b) **(0.5 puntos)** La función de onda de Schrödinger para una partícula que se mueve libremente en la región $-a/2 < x < a/2$ es:

$$\Psi(x,t) = A \sin \frac{2\pi x}{a} e^{-\frac{iEt}{\hbar}} \quad (-a/2 < x < a/2)$$

Escriba una expresión (no es necesario evaluarla) para obtener el valor medio de la posición de dicha partícula en función del tiempo.

Cuestión 4

- a) **(0.25 puntos)** ¿Para fabricar la superficie de un disco duro de ordenador debería utilizarse un material ferromagnético duro o blando? Justifica razonadamente la respuesta.
- b) **(0.25 puntos)** Explica el significado de los conceptos *campo coercitivo* y *magnetización remanente*.
- c) **(0.5 puntos)** Para desimantar un material formado por una aleación Co-Ni, es necesario someterlo a una intensidad de 50 A en el interior de un solenoide de 15 cm de longitud y 150 espiras. Calcula la intensidad del campo coercitivo para dicha sustancia

PROBLEMAS

Problema 1

- a) **(1 punto)** Se considera una partícula cuya cantidad de movimiento relativista es p y cuya energía total relativista es E . Demuestra que la velocidad de dicha partícula puede expresarse en función de las magnitudes anteriores de acuerdo con la expresión:

$$\frac{u}{c} = \frac{pc}{E}$$

siendo c la velocidad de la luz.

- b) **(1 punto)** Si la partícula anterior tiene una energía en reposo de 2 MeV y una energía cinética de 3 MeV, determina la velocidad de la partícula y exprésala en porcentaje respecto a la velocidad de la luz.

Dato: $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Problema 2

En un experimento de dispersión Compton, la radiación incidente, de 0.01 MeV de energía es dispersada un ángulo de 60° . Determina

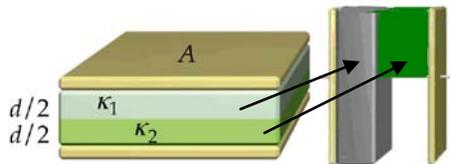
- a) **(1.25 puntos)** la frecuencia de la radiación dispersada.
 b) **(0.75 puntos)** La energía cinética adquirida por el electrón.

Datos: $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Problema 3

El condensador de la figura está construido sobre dos dieléctricos de constantes $\kappa_1 = 3$ y $\kappa_2 = 6$. El área es de 50 cm^2 y la distancia entre placas 0,5 cm. Se conecta a una fuente de alimentación y se carga a una tensión de 2000 V. Calcula:

- a) **(0.75 puntos)** la carga libre y la carga ligada o de polarización.
 b) **(0.5 puntos)** El campo eléctrico en cada dieléctrico.
 c) **(0.75 puntos)** Si se sustituye la mitad inferior (ver figura) del segundo dieléctrico por otro material, calcula la capacidad equivalente del sistema para el caso de un conductor y aire.



TEORÍA

Cuestión 1

- (0.5 puntos) Explica por qué se dice que la luz tiene un comportamiento o naturaleza *dual*.
- (0.5 puntos) Analiza cuál es el origen de la energía liberada en una reacción nuclear de fusión.

Cuestión 2

- (0.5 puntos) Explica por qué para bajas frecuencias ($\nu \rightarrow 0$), los resultados del modelo de Rayleigh y Jeans para la radiación de un cuerpo negro reproducen adecuadamente los datos experimentales.
- (0.5 puntos) Enuncia la ley de desplazamiento de Wien. Explica *cómo obtendrías* dicha ley (no es necesario obtenerla) a partir de la expresión para la densidad de energía radiada según el modelo cuántico de Planck:

$$\rho_T(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Cuestión 3

- (0.5 puntos) Comenta críticamente el siguiente texto científico:

(...) Einstein estaba muy descontento por esta aparente aleatoriedad en la naturaleza. Su opinión se resumía en su famosa frase “Dios no juega a los dados con el Universo”. Parecía que había sentido que la incertidumbre era sólo provisional, y que existía una realidad subyacente en la que las partículas tendrían posiciones y velocidades bien definidas y se comportarían de acuerdo con leyes deterministas. Esta realidad podría ser conocida por Dios, pero la naturaleza cuántica de la luz nos impediría verla.

Stephen Hawking: ¿Juega Dios a los dados?

- (0.5 puntos) Un determinado material semiconductor intrínseco presenta un salto (“gap”) de energía entre las bandas de valencia y de conducción tal que su conductividad es muy reducida a temperatura ambiente. ¿Podrías sugerir algún procedimiento para favorecer la conductividad de dicho material?

Cuestión 4

- (0.5 puntos) Define y explica los siguientes fenómenos: diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo, campo coercitivo y magnetismo remanente.
- (0.5 puntos) Calcula la magnetización que adquiere un trozo de hierro en el interior de un solenoide ideal por el que circula una corriente de 10 A y que contiene 250 espiras por metro de solenoide. El hierro tiene una permeabilidad magnética de $5000\mu_0$.

PROBLEMAS

1.a) **(1 punto)** La energía necesaria para extraer el electrón más externo de una placa de sodio es 2.3 eV. Razona y justifica numéricamente si el sodio presentará efecto fotoeléctrico cuando se ilumine con luz amarilla de longitud de onda $\lambda = 589 \text{ nm}$.

1.b) **(1 punto)** Si un muón (partícula con igual carga que el electrón pero cuya masa es 207 veces mayor) es capturado por un núcleo de plomo ($Z = 82$), el sistema resultante se comportará como un átomo monoeléctrico. Determina la energía del fotón emitido en la transición desde el primer estado excitado ($n = 2$) al estado fundamental ($n = 1$) de este átomo muónico.

Datos: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

2.- La función de onda espacial de una partícula libre ($U = 0$) viene dada por:

$$\varphi(x) = A \cos(kx) + B \sin(kx)$$

donde A , B y k son constantes.

a) **(1.5 puntos)** Demuestra que la función de onda es una solución particular de la ecuación de Schrödinger y determina los valores de energía compatibles con la solución anterior.

b) **(0.5 puntos)** Escribe la ecuación de normalización para la anterior función de onda (no es necesario evaluar la ecuación).

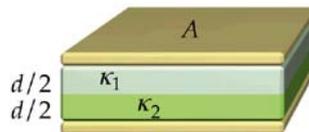
3.- Un condensador está construido sobre dos dieléctricos de constantes $\kappa_1 = 4$ y $\kappa_2 = 6$ (ver Figura). El área es de 50 cm^2 y la distancia entre placas $0,5 \text{ cm}$. Se conecta a una fuente de alimentación y se carga a una tensión de 4000 V . Calcular:

a) **(0.5 puntos)** La capacidad equivalente del sistema.

b) **(0.5 puntos)** La carga libre y la carga ligada o de polarización.

c) **(0.5 puntos)** El campo eléctrico en cada dieléctrico.

d) **(0.5 puntos)** La energía almacenada en el condensador.



TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Explique brevemente en qué consistió el experimento de Michelson y Morley y describa las diferencias entre los resultados que se esperaban y los que se obtuvieron. ¿A qué se atribuyeron estas diferencias?
- b) **(0.5 puntos)** La ecuación para la energía cinética relativista es:

$$K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right)$$

Tomando el límite $v \ll c$, obtenga la expresión clásica para la energía cinética.

Ayuda: $(1+x)^n \approx 1+nx$ si $x \ll 1$

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Explique por qué para altas frecuencias ($\nu \rightarrow \infty$), las predicciones del modelo de Rayleigh y Jeans para la radiación de un cuerpo negro discrepan de los resultados experimentales (catástrofe ultravioleta).
- b) **(0.5 puntos)** Comente algunos de los fenómenos relativos al efecto fotoeléctrico que no era posible explicar por medio de la teoría ondulatoria. Comente asimismo la explicación a dichos fenómenos que ofreció la teoría corpuscular de Einstein.

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** Demuestre que la incertidumbre en la energía cinética, K , de una partícula que se mueve en una trayectoria rectilínea viene dada por $\Delta K = v \Delta p$, siendo v el módulo de la velocidad y Δp la incertidumbre de la cantidad de movimiento.
- b) **(0.5 puntos)** Describa los tres tipos de emisiones radiactivas en términos de los números atómicos Z y másicos A de los productos y los reactivos. Si se observa que un cierto tipo de emisión radiactiva pasa sin desviarse por una región en la que existe un campo eléctrico, ¿de qué tipo de emisión se trata? Justifique la respuesta.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Explique razonadamente la diferencia entre un material ferromagnético duro y otro blando y justifique las aplicaciones de ambos.
- b) **(0.5 puntos)** Explique la diferencia entre los fenómenos de diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo en términos de los valores de la susceptibilidad magnética de cada material.

Tiempo estimado: 1 hora.

PROBLEMAS

Problema 1 (2 puntos)

A partir de la ecuación de la radiación espectral

$$R_T = \frac{2\pi^5 h^3}{15 c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

obtenga una expresión (no es necesario evaluarla) para la constante de Stefan-Boltzmann en función de las constantes de Boltzmann (k), Planck (h) y de la velocidad de la luz (c).

Ayuda: $\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$

Problema 2

Se realiza un experimento de dispersión Compton con rayos X de 2 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) de longitud de onda. Determine

- (1 punto)** El tanto por ciento de energía perdida por los rayos X dispersados un ángulo de 45° .
- (1 punto)** El ángulo de dispersión para el que la energía cinética del electrón de retroceso es máxima y el valor de dicha energía máxima.

Datos: $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Problema 3

Un condensador de láminas plano paralelas relleno de mica (constante dieléctrica 5) tiene una capacidad de 2 nF y se carga mediante una diferencia de potencial inicial de 100 V . Si, una vez cargado se aísla el condensador, calcule:

- (0.5 puntos)** La carga ligada o inducida.
- (0.5 puntos)** La carga libre.
- (0.5 puntos)** El trabajo necesario para retirar la mica de entre las láminas del condensador.
- (0.5 puntos)** La nueva diferencia de potencial entre las láminas del condensador después de haber retirado la mica.

Tiempo estimado: 2 horas

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Las siguientes parejas de energías representan la energía en reposo y la energía total, respectivamente, de tres partículas diferentes: partícula 1: E , $2E$; partícula 2: E , $3E$; partícula 3: $2E$, $4E$. Ordene las partículas de mayor a menor velocidad.
- b) **(0.5 puntos)** Razoné en qué medidas de la velocidad realizadas por dos observadores en movimiento relativo uno respecto del otro el resultado será el mismo para los dos.

Dato: $\gamma = \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{-1/2}$

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Explique por qué para bajas frecuencias ($\nu \rightarrow 0$), los resultados del modelo de Rayleigh y Jeans para la radiación de un cuerpo negro reproducen adecuadamente los datos experimentales.
- b) **(0.5 puntos)** Enuncie la ley de desplazamiento de Wien. Explique *cómo obtendría* dicha ley (no es necesario obtenerla) a partir de la expresión para la densidad de energía radiada según el modelo cuántico de Planck:

$$\rho_T(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Cuestión 3

Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- a) **(0.5 puntos)** La energía de los electrones emitidos por efecto fotoeléctrico no depende de la intensidad de la luz para una frecuencia dada.
- b) **(0.5 puntos)** El efecto fotoeléctrico no tiene lugar en un cierto material al incidir sobre él luz azul, y sí al incidir luz naranja.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Explique la diferencia entre los fenómenos de diamagnetismo, paramagnetismo y ferromagnetismo. Describa la diferencia en los valores de la susceptibilidad magnética de cada material.
- b) **(0.5 puntos)** Un imán atrae a un trozo de hierro. El hierro puede, entonces, atraer a otra pieza de hierro. Basándose en la alineación de dominios, explique qué sucede en cada pieza de hierro.

PROBLEMAS

1.- Se trata de medir el trabajo de extracción de un nuevo material. Para ello se provoca el efecto fotoeléctrico haciendo incidir una radiación monocromática sobre una muestra A de ese material y, al mismo tiempo, sobre otra muestra B de otro material cuyo trabajo de extracción es $\Phi_B = 5 \text{ eV}$. Los potenciales de frenado son $V_A = 8 \text{ V}$ y $V_B = 12 \text{ V}$, respectivamente. Calcule:

- a) **(1 punto)** La frecuencia de la radiación utilizada.
- b) **(1 punto)** El trabajo de extracción Φ_A .

Datos: $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

2.- La función de onda de un electrón dentro de un pozo de potencial infinito unidimensional de longitud L con origen en $x=0$ es:

$$\varphi(x) = A \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

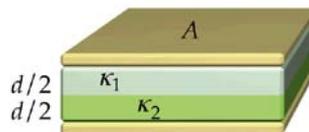
- a) **(1 punto)** Mediante la condición de normalización de la función de onda, determine el valor de la constante A .
- b) **(1 punto)** Determine la probabilidad de localizar al electrón entre los puntos $x=0$ y $x=L/3$.

Ayuda: Para realizar las integrales correspondientes, aplique la relación trigonométrica

$$\text{sen}^2 \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\alpha)$$

3.- Un condensador está construido sobre dos dieléctricos de constantes $\kappa_1 = 4$ y $\kappa_2 = 6$ (ver Figura). El área es de 50 cm^2 y la distancia entre placas $0,5 \text{ cm}$. Se conecta a una fuente de alimentación y se carga a una tensión de 4000 V . Calcule:

- a) **(0.5 puntos)** La capacidad equivalente del sistema.
- b) **(0.5 puntos)** La carga libre y la carga ligada o de polarización.
- c) **(0.5 puntos)** El campo eléctrico en cada dieléctrico.
- d) **(0.5 puntos)** La energía almacenada en el condensador.



TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** La masa de un núcleo atómico estable no coincide con la suma de las masas de las partículas que lo constituyen. ¿Es mayor o menor? Justifique la respuesta.
- b) **(0.5 puntos)** Razone, según el modelo atómico de Bohr, por qué en el espectro emitido por los átomos sólo aparecen ciertas líneas a distintas frecuencias.

Cuestión 2

Analice las siguientes proposiciones razonando si son verdaderas o falsas:

- a) **(0.5 puntos)** El trabajo de extracción de un metal depende de la frecuencia de la luz incidente.
- b) **(0.5 puntos)** La energía cinética máxima de los electrones emitidos en el efecto fotoeléctrico varía linealmente con la frecuencia de la luz incidente.

Cuestión 3

(1 punto) Teorías sobre la radiación del cuerpo negro: modelo de Rayleigh-Jeans y modelo cuántico de Planck.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Considere una tubería de acero de conductividad térmica $k = 15 \text{ W/mK}$ que se utiliza para transportar un fluido a baja temperatura (menor que la del ambiente, con el que intercambia calor por convección con un coeficiente de transferencia $h = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$). Para reducir las pérdidas, se dispone una capa de aislante de lana de roca ($k = 0.05 \text{ W/mK}$) hasta un radio total de 10 cm. Discuta la conveniencia o no de añadir un mayor espesor de aislante para lograr una mayor reducción de las pérdidas de calor.
- b) **(0.5 puntos)** Se desea enfriar un determinado material que ha salido de un horno a elevada temperatura. Para ello, se piensa en utilizar aire o agua (ambos a la misma temperatura) como fluido de intercambio. Razone cuál de ellos será más eficiente y discuta asimismo las ventajas de agitar el recipiente en el que se produzca el proceso.

PROBLEMAS

Problema 1

La ecuación de Schrödinger puede aplicarse a las oscilaciones de los átomos de una molécula diatómica (como el H₂ o el HCl) que oscile en torno a su posición de equilibrio. Estas pequeñas oscilaciones pueden modelarse como un oscilador armónico en el que la función energía potencial es:

$$U(x) = \frac{kx^2}{2} = \frac{m\omega_0^2 x^2}{2}$$

donde ω_0 es la frecuencia natural del oscilador.

a) **(0.5 puntos)** Escriba la correspondiente ecuación de Schrödinger para el estudio de las oscilaciones de las moléculas diatómicas según este modelo

b) **(1 punto)** La siguiente función de onda

$$\varphi(x) = A_0 e^{-ax^2}$$

con A_0 y a constantes es una solución de la ecuación anterior (concretamente la correspondiente al estado fundamental). Evalúe la ecuación resultante en el punto $x=0$ y demuestre que la energía del estado fundamental tiene por valor

$$E_0 = \frac{\hbar^2 a}{m}$$

c) **(0.5 puntos)** Demuestre que el resultado anterior puede expresarse en función de la frecuencia natural como:

$$E_0 = \frac{\hbar\omega_0}{2}.$$

Problema 2

a) **(1 punto)** Si la interacción atractiva entre el protón y el electrón fuese del tipo

$$F = -\frac{e^2}{r^{3/2}}$$

determine el valor del radio atómico del estado fundamental del átomo de hidrógeno a partir de los postulados de Bohr.

b) El ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ se desintegra radiactivamente para dar ${}^{222}_{86}\text{Rn}$.

b1) **(0.5 puntos)** Indique el tipo de emisión radiactiva que se produce y escriba la correspondiente ecuación.

b2) **(0.5 puntos)** Calcule la energía liberada en el proceso y exprésela en eV.

Problema 3

(2 puntos) Una pared exterior de una casa se puede aproximar por una capa de 10.16 cm de ladrillo corriente ($k = 0.7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) seguida de una capa de 3.81 cm de yeso ($k = 0.48 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). ¿Qué espesor de aislante de lana de roca ($k = 0.065 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) debería añadirse para reducir en un 80% la transferencia de calor a través de la pared?

Datos: $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$;

$m_{\text{Ra}} = 225,9771 \text{ u}$; $m_{\text{Rn}} = 221,9703 \text{ u}$; $m_{\text{He}} = 4,0026 \text{ u}$; $1 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Las siguientes parejas de energías representan la energía en reposo y la energía total, respectivamente, de tres partículas diferentes: partícula 1: E , $2E$; partícula 2: E , $3E$; partícula 3: $2E$, $4E$. Ordene las partículas de mayor a menor velocidad.
- b) **(0.5 puntos)** Explique por qué la existencia de una frecuencia umbral para el efecto fotoeléctrico no puede explicarse con la teoría ondulatoria de la luz.

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Un protón y un electrón ($m_p > m_e$) se mueven con la misma velocidad. Razone cuál de los dos tiene una longitud de onda de De Broglie asociada mayor.
- b) **(0.5 puntos)** Un protón y un electrón ($m_p > m_e$) tienen la misma energía cinética. Razone cuál de los dos tiene una longitud de onda de De Broglie asociada mayor.

Cuestión 3

- (1 punto)** Relatividad de la simultaneidad. Eventos relacionados causalmente.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Considere una tubería de aluminio de conductividad térmica $k = 225$ W/mK que se utiliza para transportar un fluido a baja temperatura (menor que la del ambiente, con el que intercambia calor por convección con un coeficiente de transferencia $h = 4$ W/m²K). Para reducir las pérdidas, se dispone una capa de aislante ($k = 0.5$ W/mK) hasta un radio total de 10 cm. Discuta la conveniencia o no de añadir un mayor espesor de aislante para lograr una mayor reducción de las pérdidas de calor.
- b) **(0.5 puntos)** Basándose en la ley de Wien y en el comportamiento selectivo de los gases de la atmósfera frente a las distintas longitudes de onda, explique cualitativamente el efecto invernadero sobre el planeta Tierra.

PROBLEMAS

Problema 1

Dos naves espaciales, cada una de 100 m de longitud propia viajan una hacia la otra con velocidades de $0.85c$ relativas a un sistema de referencia en el observatorio de la Tierra.

- a) **(0.5 puntos)** ¿Qué longitud tiene cada nave medida desde el observatorio de la Tierra?
- b) **(0.5 puntos)** ¿Qué velocidad tiene cada nave medida por los tripulantes de la otra nave?
- c) **(0.5 puntos)** ¿Qué longitud tiene cada nave medida por los tripulantes de la otra nave?
- d) **(0.5 puntos)** En el instante $t = 0$ se ve desde el observatorio de la Tierra que las dos naves tienen su origen en la misma coordenada x , es decir, comienzan a cruzarse. ¿En qué instante se verán sus extremos posteriores en la misma coordenada x desde el observatorio de la Tierra?

Problema 2

a) La energía del estado $n = 5$ de un protón en una caja es 7.5 meV . Determine:

- a1) **(0.5 puntos)** la longitud de la caja
- a2) **(0.5 puntos)** la energía del estado fundamental

b) Al iluminar la superficie de un metal con luz de longitud de onda 280 nm , la emisión de fotoelectrones cesa para un potencial de frenado de $1,3 \text{ V}$.

- b1) **(0.5 puntos)** Determine la función trabajo del metal y la frecuencia umbral de emisión fotoeléctrica.
- b2) **(0.5 puntos)** Cuando la superficie del metal se ha oxidado, el potencial de frenado para la misma luz incidente es de $0,7 \text{ V}$. Razone cómo cambian, debido a la oxidación del metal: i) la energía cinética máxima de los fotoelectrones; ii) la frecuencia umbral de emisión; iii) la función trabajo.

Problema 3

Por el interior de un tubo de 2.5 cm de diámetro interior circula agua a 50°C con un coeficiente de intercambio para convección forzada en flujo interno de $3500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El tubo tiene una pared de 0.8 mm de espesor y una conductividad térmica de $16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. El exterior del tubo pierde calor por convección natural con un coeficiente de transferencia de $7.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

- a) **(1 punto)** Evalúe la importancia relativa de cada uno de los mecanismos de transferencia al intercambio total, determinando cuál es el mecanismo dominante.
- b) **(1 punto)** Determine el coeficiente global de transferencia de calor (referido al área exterior) y la pérdida de calor por unidad de longitud hacia el aire circundante, que se encuentra a 20°C .

Datos: $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $m_p = 1.675 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$;
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$;

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** La masa de un núcleo atómico inestable no coincide con la suma de las masas de las partículas que lo constituyen. ¿Es mayor o menor? Justifique la respuesta.
- b) **(0.5 puntos)** Razoné en qué medidas de la velocidad realizadas por dos observadores en movimiento relativo uno respecto del otro el resultado será el mismo para los dos.

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** La relación entre los intervalos de tiempo transcurridos entre dos sucesos en dos sistemas de referencia O y O' es

$$t'_2 - t'_1 = \gamma(t_2 - t_1) - \frac{\gamma u}{c^2}(x_2 - x_1).$$

Deduzca a partir de esa expresión la condición de relación causal entre dos eventos.

- b) **(0.5 puntos)** Explique el significado de los distintos términos de la siguiente ecuación de Maxwell:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int_S (\vec{J} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$

Cuestión 3

- (1 punto)** Comente críticamente el siguiente texto científico

"Usted cree en un Dios que juega a los dados, y yo en un orden y una ley completos en un mundo que existe objetivamente, y que yo, en una forma altamente especulativa, intento capturar... ni siquiera el gran éxito inicial de la teoría cuántica me hace creer en el juego de dados fundamental, aún cuando estoy advertido que sus colegas más jóvenes lo interpretan como una consecuencia de la senilidad."

Carta de A. Einstein a Max Born (1926)

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Basándose en la ley de Wien y en el comportamiento selectivo de los gases de la atmósfera frente a las distintas longitudes de onda, explique cualitativamente el efecto invernadero sobre el planeta Tierra.
- b) **(0.5 puntos)** Explique en términos de la teoría de bandas las diferencias entre un material aislante, un semiconductor y un conductor. Un material que tenga su banda de valencia completamente llena y su banda de conducción vacía y ambas estén separadas una energía de 10eV, ¿qué tipo de material será a temperatura ambiente?

Duración: 60 minutos

PROBLEMAS

1.- En un experimento Compton, un electrón alcanza una energía cinética de 0.1 MeV cuando un rayo X de energía 0.5 MeV incide sobre él. Se pide:

(a) **(1 punto)** Determine la longitud de onda del fotón una vez dispersado, si el electrón estaba inicialmente en reposo.

(b) **(1 punto)** Encuentre el ángulo que forma el fotón dispersado con la dirección incidente.

2.- La función de onda de un electrón dentro de un pozo de potencial infinito unidimensional de longitud L con origen en $x=0$ es:

$$\varphi(x) = A \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

a) **(1 punto)** Mediante la condición de normalización de la función de onda, determine el valor de la constante A .

b) **(1 punto)** Determine la probabilidad de localizar al electrón entre los puntos $x=0$ y $x=L/3$.

Ayuda: Para realizar las integrales correspondientes, aplique la relación trigonométrica

$$\text{sen}^2 \alpha = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos(2\alpha)$$

3.- **(2 puntos)** Los gases calientes de combustión de un horno se separan del aire ambiente y sus alrededores, que están a 25°C mediante una pared de ladrillo de 0.15 m de espesor. El ladrillo tiene una conductividad térmica de 1.2 W/mK y una emisividad superficial de 0.8. Se mide una temperatura de la superficie externa de 100°C en estado estacionario. La transferencia de calor por convección natural de la superficie al ambiente se caracteriza por un coeficiente de película de 20 W/m²·K. ¿Qué temperatura alcanza la pared interior del ladrillo en contacto con el horno?

Duración: 2 horas

TEORÍA

Cuestión 1

Razone la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- a) **(0.5 puntos)** La longitud propia de un objeto es la que se mide desde cualquier sistema de referencia en reposo
- b) **(0.5 puntos)** Dos eventos simultáneos que tienen lugar en el mismo lugar serán también simultáneos en cualquier sistema de referencia inercial

Nota: La respuesta debe comenzar con Verdadero/Falso seguida de la explicación correspondiente

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Razone por qué el germanio, cuya banda prohibida tiene una energía de ~ 0.7 eV, conduce la electricidad a temperatura ambiente.
- b) **(0.5 puntos)** Compare la exactitud que cabría esperar de la aplicación del modelo atómico de Bohr en la predicción de los niveles energéticos del átomo de hidrógeno ($Z = 1$) y en un átomo monoeléctrico de plutonio ($Z = 94$). Identifique las causas de las posibles discrepancias.

Cuestión 3

(1 punto) Comete críticamente el siguiente texto científico

“Fue el suceso más increíble que me ha ocurrido en la vida. Era casi tan increíble como si se disparara una bala de cañón de 15 pulgadas hacia una hoja de papel y rebotara para pegarnos”

Ernest Rutherford

Cuestión 4

A partir de la ecuación para la temperatura T en un problema de conducción de calor en coordenadas cartesianas (donde ρ , C_p y k son la densidad, capacidad calorífica y conductividad térmica, respectivamente y g es la generación de calor por unidad de volumen) obtenga la ecuación simplificada bajo las siguientes restricciones:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + g$$

- a) **(0.5 puntos)** el sólido es homogéneo e isótropo (y, por tanto, de propiedades constantes)
- b) **(0.5 puntos)** se ha alcanzado el régimen permanente y no hay generación de calor

Duración: 60 minutos

PROBLEMAS

1.-

a) **(1 punto)** Se comunica a una partícula una energía cinética tres veces superior a su energía en reposo. Determine la velocidad de la partícula (expresada en tanto por uno respecto a la velocidad de la luz).

b) **(1 punto)** Determine el cociente (λ_μ/λ_e) entre la longitud de onda asociada a un electrón y la asociada a un muón ($m_\mu=207m_e$) si ambos tienen la misma energía cinética.

2.-

a) **(1 punto)** Luz ultravioleta de 260 nm de longitud de onda arranca fotoelectrones de un metal y les proporciona una energía cinética máxima de 1.34 eV. Razone si una radiación de 390 nm de longitud de onda arrancará electrones de dicho metal y, en caso afirmativo, determine la energía cinética máxima que les comunica.

b) **(1 punto)** En su experimento original, Compton utilizó fotones de 0.0711 nm de longitud de onda. Establezca las cotas superior e inferior para la longitud de onda de los fotones dispersados.

3.- La ventana trasera de un coche puede desempañarse uniendo un elemento de calentamiento delgado (de tipo película transparente) a su superficie interior. Al calentar este elemento (por ejemplo, mediante una corriente eléctrica), se establece un flujo de calor uniforme en la superficie interior.

a) **(1.5 puntos)** Para una ventana de vidrio ($k = 1.4 \text{ W/mK}$) de 4 mm de espesor, determine la potencia calorífica que debe suministrarse por unidad de superficie para mantener una temperatura de 15°C en la superficie interior de la ventana (suficiente para desempañar el cristal) cuando la temperatura del aire y las superficies interiores del coche es de 25°C y los coeficientes de intercambio para convección y radiación son, respectivamente 10 W/m²K y 15 W/m²K y la temperatura del exterior es de -4°C con un coeficiente de intercambio convectivo de 65 W/m²K.

b) **(0.5 puntos)** Determine la temperatura de la superficie externa del cristal en esas condiciones.

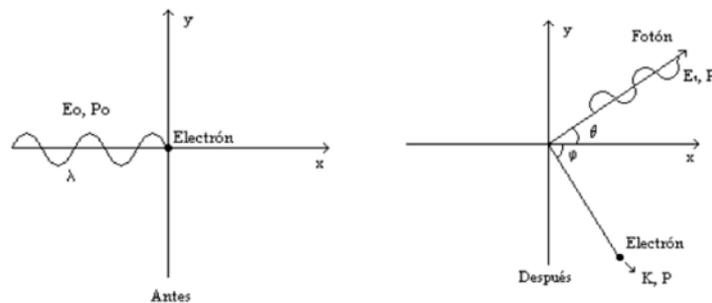
Datos: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Duración: 90 minutos

TEORÍA

Cuestión 1

(1 punto) Escriba las ecuaciones de conservación de la energía y cantidad de movimiento en el experimento Compton que se muestra en el Figura



Cuestión 2

Sea $\Psi(x)$ ($0 \leq x \leq L$) la función de onda de Schrödinger de una determinada partícula en un movimiento unidimensional. Explique el significado físico de las siguientes expresiones:

a) (0.5 puntos) $\int_0^b \Psi^*(x)\Psi(x)dx$, ($b < L$)

b) (0.5 puntos) $\int_0^L \Psi^*(x)x\Psi(x)dx$

Cuestión 3

a) (0.5 puntos) Represente gráficamente de forma aproximada la relación entre la corriente en un experimento fotoeléctrico y el potencial de frenado para distintas intensidades de radiación incidente. Razone cómo difieren las predicciones de la teoría ondulatoria de la luz del resultado experimental.

b) (0.5 puntos) Razone el efecto que puede tener la presencia de un fuerte viento en el intercambio de calor por convección entre el océano y la atmósfera.

Cuestión 4

(1 punto) Condiciones iniciales y de contorno en la ecuación de conducción del calor: formulación matemática y situaciones físicas que modelan.

PROBLEMAS

1.-

a) **(1 punto)** Un electrón tiene una energía cinética de 100 eV. Determine la longitud de onda asociada a dicho electrón.

b) **(1 punto)** Determine a qué velocidad (expresada en tanto por uno respecto a la velocidad de la luz) deberá moverse un electrón para que su masa aumente en un 0.4%. Si en vez de un electrón se tratase de un protón, ¿cómo varía el resultado anterior?

2.- **(2 puntos)** La función de onda del orbital 1s del átomo de hidrógeno es:

$$\varphi(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} r \cdot e^{-\frac{r}{a_0}}$$

donde a_0 es un parámetro cuyo valor es igual al radio de la órbita del estado fundamental del modelo de Bohr. Determine la posición más probable del electrón en dicho estado fundamental.

3.- Por el interior de una tubería de acero ($k = 15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 17 cm de diámetro exterior y 15 cm de diámetro interior circula vapor a 274°C atravesando un local que se encuentra a 21°C . Los coeficientes de transferencia por convección externa e interna son $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $2000 \text{ W/m}^2\text{K}$. Se pide:

a) **(1 punto)** Escriba una ecuación algebraica que permita determinar el espesor de aislante de lana de roca ($k = 0.048 \text{ W/mK}$) necesario para reducir el flujo de calor a la tercera parte.

b) **(0.5 puntos)** Resuelva de forma iterativa dicha ecuación y determine el valor numérico del espesor requerido

c) **(0.5 puntos)** Escriba una ecuación algebraica (no es necesario resolverla) que permita determinar el espesor de aislante de lana de roca para reducir la temperatura exterior de la tubería hasta un máximo de 50°C .

Datos: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

Duración: 90 minutos

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Explique brevemente en qué consistió el experimento de Michelson y Morley y describa las diferencias entre los resultados que se esperaban y los que se obtuvieron. ¿A qué se atribuyeron estas diferencias?
- b) **(0.5 puntos)** La ecuación para la energía cinética relativista es:

$$K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right)$$

Tomando el límite $v \ll c$, obtenga la expresión clásica para la energía cinética.

Ayuda: $(1+x)^n \approx 1+nx$ si $x \ll 1$

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Explique por qué para altas frecuencias ($\nu \rightarrow \infty$), las predicciones del modelo de Rayleigh y Jeans para la radiación de un cuerpo negro discrepan de los resultados experimentales (catástrofe ultravioleta).
- b) **(0.5 puntos)** Enuncie la ley de desplazamiento de Wien. Explique *cómo obtendría* dicha ley (no es necesario obtenerla) a partir de la expresión para la densidad de energía radiada según el modelo cuántico de Planck:

$$\rho_T(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** Demuestre que la incertidumbre en la energía cinética, K , de una partícula que se mueve en una trayectoria rectilínea viene dada por $\Delta K = v\Delta p$, siendo v el módulo de la velocidad y Δp la incertidumbre de la cantidad de movimiento.
- b) **(0.5 puntos)** Describa los tres tipos de emisiones radiactivas en términos de los números atómicos Z y másicos A de los productos y los reactivos. Si se observa que un cierto tipo de emisión radiactiva pasa sin desviarse por una región en la que existe un campo eléctrico, ¿de qué tipo de emisión se trata? Justifique la respuesta.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Basándose en la ley de Wien y en el comportamiento selectivo de los gases de la atmósfera frente a las distintas longitudes de onda, explique cualitativamente el efecto invernadero sobre el planeta Tierra.
- b) **(0.5 puntos)** Razone qué cambios cabría esperar en la emisión fotoeléctrica de una superficie metálica: i) al aumentar la intensidad de la luz incidente; ii) al aumentar el tiempo de iluminación; iii) al disminuir la frecuencia de la luz incidente.

Tiempo estimado: 1 hora.

PROBLEMAS

Problema 1 (2 puntos)

La fórmula empírica de Rydberg-Ritz para el átomo de hidrógeno puede escribirse como:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

donde R_H es la constante de Rydberg y n_f y n_i los números cuánticos final e inicial, respectivamente. A partir de los postulados de Bohr, exprese la constante de Rydberg en función de las siguientes constantes: $m_e = 9.11 \cdot 10^{-31}$ kg; $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C; $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ F/m; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Js y determine su valor numérico.

Problema 2

Se realiza un experimento de dispersión Compton con rayos X de 2 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m) de longitud de onda. Determine

- (1 punto)** El tanto por ciento de energía perdida por los rayos X dispersados un ángulo de 45° .
- (1 punto)** El ángulo de dispersión para el que la energía cinética del electrón de retroceso es máxima y el valor de dicha energía máxima.

Datos: $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$ J·s; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ C; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg

Problema 3 (2 puntos)

La distribución de temperaturas a través de una pared de 1 m de espesor y 10 m^2 de superficie en cierto instante está dado por: $T(x) = a + bx + cx^2$ (°C, m). El valor de las constantes es: $a = 900^\circ\text{C}$, $b = -300^\circ\text{C/m}$ y $c = -50^\circ\text{C/m}^2$. En la pared tiene lugar una generación de calor uniforme de 1000 W/m^2 y su densidad, conductividad térmica y capacidad calorífica son, respectivamente: 1600 kg/m^3 , $40 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y $4 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$. Se pide:

- (1 punto)** La potencia calorífica que entra y sale de la pared
- (1 punto)** La potencia calorífica almacenada en la pared.

Tiempo estimado: 90 minutos

TEORÍA

Cuestión 1

a) **(0.5 puntos)** El índice de refracción de un medio, n , se define como el cociente entre la velocidad de la luz en el vacío, c , y la velocidad de la luz en el medio, v : $n = c/v$. Sabiendo que la permeabilidad eléctrica relativa (constante dieléctrica) del agua en la frecuencia del visible es $\epsilon_r = 16/9$ y asumiendo $\mu_{\text{agua}} \approx \mu_0$, determine el índice de refracción del agua.

b) **(0.5 puntos)** En 1929, G. P. Thomson hizo pasar un haz de electrones a través de una delgada capa de metal y observó los patrones de interferencia formados. En otro experimento independiente, C. J. Davisson y L. H. Germer hicieron pasar un haz de electrones a través de una rejilla cristalina, obteniendo también un patrón de interferencias. Por estos trabajos, Thomson y Davisson compartieron el Premio Nobel de Física en 1937. Comente y justifique la importancia de dichos experimentos.

Cuestión 2 (1 punto)

La función de onda de una partícula en un pozo de potencial infinito unidimensional de longitud L es:

$$\varphi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{n\pi}{L} x\right)$$

Determine la(s) posición(es) más probables de la partícula en el pozo de potencial para el estado cuántico $n = 2$.

Ayuda: Si lo necesita, puede hacer uso de la relación: $2\operatorname{sen}^2\alpha = 1 - \cos(2\alpha)$.

Cuestión 3 (1 punto)

Comente críticamente el siguiente texto científico

“Resumiendo brevemente, lo que hice puede ser descrito tan simplemente como un acto de desesperación. Por naturaleza yo soy pacífico y evito todo tipo de aventuras dudosas. Pero llevaba seis años (desde 1894) de lucha infructuosa con el problema de la radiación y sabía que este problema era de fundamental importancia para la física; también conocía la fórmula que expresa la distribución de energía en el espectro. Por todo ello había que encontrar una interpretación teórica a cualquier precio, por muy alto que éste fuera. Para mí resultaba claro que la física clásica no podía ofrecer solución al problema (...) pero éste se podía explicar suponiendo, como principio, que la energía ha de permanecer reunida en ciertos cuantos. Se trataba de una hipótesis puramente formal y ciertamente no le dediqué mucha atención salvo que, a toda costa, me debía conducir a un resultado positivo.”

Carta de Planck a R. W. Wood

Cuestión 4

a) **(0.5 puntos)** Razone por qué las temperaturas nocturnas son más bajas, para la misma época del año, una noche despejada que una noche nubosa.

b) **(0.5 puntos)** Defina el concepto de resistencia de contacto en paredes compuestas.

PROBLEMAS

1.- (2 puntos) Para comprobar experimentalmente los efectos relativistas, Hafele y Keating (Science 177, 166 (1972)) pusieron un reloj de cesio a bordo de un avión de línea regular alrededor del mundo en órbita ecuatorial en sentido Este y dejaron otro reloj de cesio como referencia en el observatorio. La velocidad media del vuelo fue de 713 km/h durante un tiempo de 41.2 horas. Determine el retraso predicho por la relatividad especial para el reloj de a bordo respecto al reloj del observatorio.

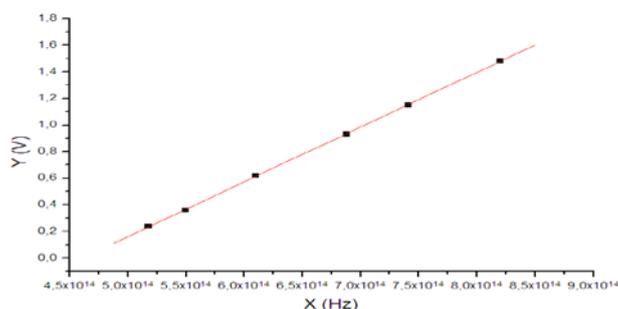
Ayudas: 1) Determine la dilatación del tiempo para los dos relojes (observatorio y a bordo) respecto a un hipotético reloj situado en el centro de la Tierra (sistema de referencia localmente inercial). Para el reloj del observatorio, el factor de Lorentz (γ) será correspondiente a la velocidad lineal de rotación de la Tierra ($R_T=6370$ km) mientras que para el reloj de a bordo habrá que añadir la contribución de la velocidad del vuelo. 2) Utilice la aproximación $(1+x)^n \approx 1 + nx$ si $x \ll 1$ para evaluar el factor γ .

Nota: En este ejercicio, sólo se han considerado los efectos cinemáticos. En el experimento de Hafele y Keating, se consideraron también los efectos gravitatorios de la relatividad general.

2.- (2 puntos) Al iluminar cierta superficie metálica con radiación de distintas frecuencias, se obtienen los siguientes valores para el potencial de corte

$\nu \cdot 10^{14}$ Hz	8.196	7.407	6.88	6.097	5.494	5.18
V_0 (V)	1.48	1.15	0.93	0.62	0.36	0.24

En la siguiente gráfica se muestra la representación de la frecuencia (en el eje x) frente al potencial de corte (en el eje y). La ecuación de la recta ajustada por mínimos cuadrados mediante un programa de cálculo es: $y = -1.89 + 4.11 \cdot 10^{-15} x$. Determine la frecuencia umbral del metal para el efecto fotoeléctrico.



3.- El máximo de radiancia espectral correspondiente a la luz emitida por el Sol (considerado como cuerpo negro) se produce, antes de atravesar la atmósfera, para una longitud de onda de aproximadamente 500 nm. Determine:

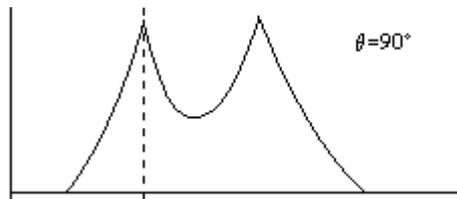
a) (1 punto) La temperatura del Sol.

b) **(1 punto)** La energía que irradia el Sol proviene de la conversión masa-energía de la relación de Einstein. Si el radio del Sol es de 695000 km, determine la tasa de pérdida de masa solar (expresada, por ejemplo, en toneladas por segundo).

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Comente qué inconveniente principal presentaba el modelo de Rutherford en relación con la estabilidad del átomo.
- b) **(0.5 puntos)** Explique y justifique la presencia de un máximo en el que las longitudes de onda incidente y dispersada coinciden en los experimentos Compton (ver figura).



Cuestión 2 (1 punto)

A partir de la función obtenida por Planck para la densidad de radiación en función de la frecuencia, deduzca la expresión para la densidad de radiación en función de la longitud de onda $\rho_T(\lambda)$ y justifique por qué la frecuencia del máximo de $\rho_T(\nu)$ no se relaciona con la longitud de onda del máximo de $\rho_T(\lambda)$ mediante $\nu_{\max} = c/\lambda_{\max}$.

$$\rho_T(\nu) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Cuestión 3 (1 punto)

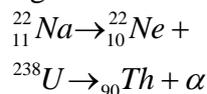
Comente críticamente el siguiente texto científico:

“La interpretación de estos resultados es que no hay desplazamiento de las bandas de interferencia. El resultado de la hipótesis de un éter estacionario queda así demostrado ser errónea. Esta conclusión contradice directamente la hipótesis (...) que presupone que la tierra se mueve a través del éter, permaneciendo éste último en reposo”

Albert A. Michelson. “The relative motion of the Earth at the Luminiferous ether”, The American Journal of Sciences., nº 22, vol. 3, p. 128. (1881).

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Complete las siguientes reacciones de desintegración:



- b) **(0.5 puntos)** Razone la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación: la distribución de temperaturas en régimen estacionario entre los extremos de una pared homogénea será lineal.

PROBLEMAS

- 1.- a) **(1 punto)** Las siguientes parejas de energías representan la energía en reposo y la energía total, respectivamente, de tres partículas diferentes: partícula 1: E , $2E$; partícula 2: E , $3E$; partícula 3: $2E$, $4E$. Ordene las partículas de mayor a menor cantidad de movimiento.
- b) **(1 punto)** Si un núcleo de plomo ($Z = 82$) atrapa una partícula con carga $q = 2e$ (siendo e la carga del electrón) y masa $m = 207 m_e$ (siendo m_e la masa del electrón), el sistema resultante se comportará como un átomo monoeléctrico. Determine el valor del radio de la primera órbita de Böhr para este sistema.
- 2.- **(2 puntos)** La frecuencia umbral para el efecto fotoeléctrico en un cierto metal es $8.5 \cdot 10^{14}$ Hz. Si ese metal constituye el cátodo o placa de una célula fotoeléctrica en la que se establece una diferencia de potencial entre la placa y el colector de 4.5 V y se hace incidir sobre ella luz ultravioleta de 300 nm de longitud de onda, determine la máxima velocidad con la que llegaría un electrón al colector.
- 3.- Uno de los problemas que deben afrontar las selecciones en el Mundial de Sudáfrica 2010 es la sensación térmica que se experimenta un día de frío y con viento (allí ha comenzado hace poco el invierno) debido al incremento de la transferencia de calor de la piel humana expuesta a la atmósfera circundante. Considere una capa de tejido adiposo de 3 mm de espesor ($k = 0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) cuya superficie interior se mantiene a la temperatura corporal de 36°C . En un día calmado, el coeficiente de transferencia de calor por convección a la superficie externa es de $25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ mientras que con vientos de 30 km/h alcanza los $65 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Para ambos casos, considere que la temperatura del ambiente es de -15°C . Determine:
- a) **(1 punto)** La relación entre el calor perdido por convección por unidad de área (q_v/q_c) en un día con viento q_v y en un día calmado, q_c .
- b) **(1 punto)** La temperatura de la superficie externa de la piel en un día con viento y en un día calmado.

TEORÍA

Cuestión 1

Razone la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

- a) **(0.5 puntos)** El tiempo propio es siempre el intervalo de tiempo medido en un sistema de referencia en reposo.
- b) **(0.5 puntos)** Siempre será posible elegir dos sistemas de referencia inerciales en los cuales el orden de aparición de dos sucesos cualesquiera se invierta.

Nota: la respuesta debe comenzar con “Verdadero” o “Falso” y a continuación dar las razones correspondientes.

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Complete la siguiente expresión del teorema del trabajo y la energía cinética en versión relativista para una partícula que parte del reposo:

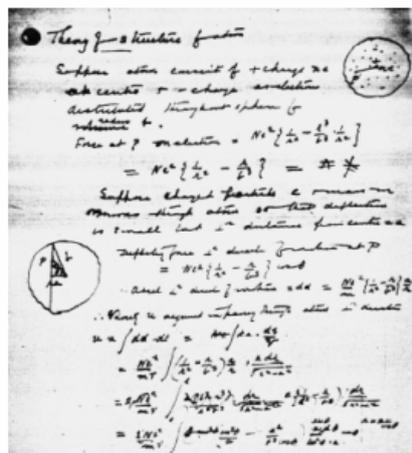
$$\int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int \frac{d}{dt} (\gamma ??) \cdot d\vec{r} = (\gamma - 1) ??$$

- b) **(0.5 puntos)** Deduzca la ecuación de Schrödinger para el caso unidimensional a partir de las siguientes equivalencias entre operadores cuánticos:

$$p_x \leftrightarrow -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}; E \leftrightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}.$$

Cuestión 3

- (1 punto)** Comente críticamente la siguiente imagen que corresponde a la primera página del primer manuscrito de Ernst Rutherford sobre su modelo atómico y los experimentos que realizó con partículas alfa



Cuestión 4

- (1 punto)** Correcciones de Sommerfeld al modelo atómico de Bohr

PROBLEMAS

1.-

a) **(1 punto)** Las coordenadas de los extremos de una barra en el sistema de referencia fijo $Oxyz$ son: $x_2 = 2.5$ m; $y_2 = 1$ m; $x_1 = 1$ m; $y_1 = 1$ m. Determine la longitud de la barra en el instante $t' = 1$ s en el sistema de referencia $O'x'y'z'$ que se mueve a lo largo del eje y con una velocidad de $v = 0.8c \vec{j}$

b) **(1 punto)** Según el modelo semicuántico de Bohr, ¿cuántas vueltas por segundo da un electrón alrededor del núcleo en el estado fundamental?

2.- **(2 puntos)** Una lámina delgada de un determinado material se dispone en una superficie horizontal completamente aislada por su cara inferior. La lámina recibe una radiación constante de 1600 W/m^2 debido a una fuente externa y está expuesta a un flujo de aire a 20°C con el que intercambia calor por convección con un coeficiente de transferencia de $15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Las paredes del recinto, con las que intercambia calor por radiación, se encuentran a 30°C . Se desea conocer la temperatura de la lámina una vez alcanzado el régimen estacionario.

3.- Se desea determinar el valor de la constante de Planck mediante el siguiente experimento: se ilumina una lámina de potasio con luz amarilla de sodio de longitud de onda $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ y se observa que se liberan electrones con una energía cinética máxima de 0.36 eV . A continuación se ilumina el mismo metal con una lámpara de mercurio de longitud de onda $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ y se observa que la energía cinética máxima de los electrones liberados es de 3.144 eV .

a) **(1 punto)** Determine el valor de la constante de Planck

b) **(1 punto)** Determine la función trabajo del potasio

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Razone, según el modelo atómico de Bohr, por qué en el espectro emitido por los átomos sólo aparecen ciertas líneas a distintas frecuencias.
- b) **(0.5 puntos)** Un protón y un electrón ($m_p > m_e$) tienen la misma energía cinética. Razone cuál de los dos tiene una longitud de onda de De Broglie asociada mayor.

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Demuestre que la incertidumbre en la energía cinética, K , de una partícula que se mueve en una trayectoria rectilínea viene dada por $\Delta K = v\Delta p$, siendo v el módulo de la velocidad y Δp la incertidumbre de la cantidad de movimiento.
- b) **(0.5 puntos)** Explique brevemente qué repercusión tuvo en el conocimiento de la naturaleza de la luz el experimento de Foucault en el que determinó que la velocidad de la luz era menor en el agua que en el aire.

Cuestión 3

- a) **(0.5 puntos)** La función de onda de Schrödinger para una partícula que se mueve libremente en la región $-a/2 < x < a/2$ es:

$$\Psi(x,t) = A \sin \frac{2\pi x}{a} e^{\frac{iEt}{\hbar}} \quad (-a/2 < x < a/2)$$

Escriba una expresión (no es necesario evaluarla) para obtener el valor medio de la posición de dicha partícula en función del tiempo.

- b) **(0.5 puntos)** Sea $\Psi(x)$ ($0 \leq x \leq L$) la función de onda de Schrödinger de una determinada partícula en un movimiento unidimensional. Explique el significado físico de la siguiente expresión:

$$\int_0^b \Psi^*(x)\Psi(x)dx, \quad (b < L)$$

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Explique qué condición de contorno impondría para modelar una situación en la que la superficie exterior del muro de un edificio recibiera un flujo de calor constante.
- b) **(0.5 puntos)** Se comunica a una partícula una energía cinética tres veces superior a su energía en reposo. Determine la velocidad de la partícula (expresada en tanto por uno respecto a la velocidad de la luz).

PROBLEMAS

1.-

a) **(1 punto)** Una barra de 1 m de longitud propia se encuentra en reposo en el sistema de referencia O' , que se mueve respecto al sistema de referencia O con una velocidad $u = 0.9c$ en la dirección $x-x'$. Si los extremos de la barra tienen las coordenadas $x_2' = 2.71$ m; $y_2' = 1.71$ m; $x_1' = 2.0$ m; $y_1' = 1.0$ m, determine el ángulo que forma la barra con la dirección $x-x'$ en el instante $t = 1$ s.

b) **(1 punto)** Un electrón tiene una energía cinética de 100 eV. Determine la longitud de onda asociada a dicho electrón.

2.- **(2 puntos)** Dos átomos de H que se encuentran en el estado fundamental se mueven con la misma velocidad de $8.5 \cdot 10^4$ m/s y chocan. En el impacto, el 34.3% de la energía cinética inicial es absorbida por los electrones de los átomos que colisionan aunque no en la misma proporción. Se observa que, tras el impacto, uno de los átomos fue excitado al estado $n = 2$. Se desea conocer si el electrón del segundo átomo ha sido excitado hasta un nivel n (y determinarlo, si éste fuera el caso) o bien ha escapado del átomo y la velocidad con que lo ha hecho (caso de darse esta segunda posibilidad)

3.-

a) **(1 punto)** Considere una tubería de aluminio de conductividad térmica $k = 225$ W/mK que se utiliza para transportar un fluido a baja temperatura (menor que la del ambiente, con el que intercambia calor por convección con un coeficiente de transferencia $h = 4$ W/m²K). Para reducir las pérdidas, se dispone una capa de aislante ($k = 0.5$ W/mK) hasta un radio total de 10 cm. Discuta la conveniencia o no de añadir un mayor espesor de aislante para lograr una mayor reducción de las pérdidas de calor.

b) **(1 punto)** Razone cómo será la distribución de temperaturas entre los extremos de una pared homogénea en régimen estacionario con una generación de calor uniforme.

TEORÍA

Cuestión 1

a) **(0.5 puntos)** Explique el significado de la siguiente ecuación de Maxwell:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \int_S (\vec{J} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \cdot d\vec{S}$$

b) **(0.5 puntos)** El tercer postulado del modelo atómico de Böhr establece que, a pesar de que el electrón se acelera constantemente al moverse en una órbita circular permitida, no irradia energía electromagnética, permaneciendo su energía total constante. ¿Cómo se conjuga este postulado con el planteamiento de la física clásica de que toda partícula cargada acelerada emite radiación?

Cuestión 2

Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

a) **(0.5 puntos)** Dos eventos simultáneos que sucedan en el mismo lugar serán también simultáneos en cualquier sistema de referencia inercial.

b) **(0.5 puntos)** El efecto fotoeléctrico no tiene lugar en un cierto material al incidir sobre él luz azul, y sí al incidir luz naranja.

Cuestión 3

a) **(0.5 puntos)** Describa los tres tipos de emisiones radiactivas en términos de los números atómicos Z y másicos A de los productos y los reactivos. Si se observa que un cierto tipo de emisión radiactiva pasa sin desviarse por una región en la que existe un campo eléctrico, ¿de qué tipo de emisión se trata? Justifique la respuesta.

b) **(0.5 puntos)** Sea $\Psi(x)$ ($0 \leq x \leq L$) la función de onda de Schrödinger de una determinada partícula en un movimiento unidimensional. Explique el significado físico de la siguiente expresión:

$$\int_0^b \Psi^*(x)\Psi(x)dx, (b < L)$$

Cuestión 4

a) **(0.5 puntos)** Razone cuál es el valor de la masa en reposo de un ente que se mueva a la velocidad de la luz.

b) **(0.5 puntos)** Se comunica a una partícula una energía cinética tres veces superior a su energía en reposo. Determine la velocidad de la partícula (expresada en tanto por uno respecto a la velocidad de la luz).

Duración: 60 minutos

PROBLEMAS

1.-

a) (1 punto) Determine la incertidumbre en la posición de un fotón de longitud de onda 3000 Å si su longitud de onda se conoce con una precisión tal que $\Delta\lambda/\lambda = 10^{-6}$.

b) (1 punto) Durante el estudio del efecto Compton en un laboratorio, se comprueba que, para una radiación incidente de 0,02 MeV de energía, existe un máximo de intensidad de la radiación dispersada con un corrimiento de +0,02 Å en su longitud de onda. Determine el ángulo de dispersión para el que se obtiene el pico de intensidad de la radiación dispersada en este ensayo Compton.

2.- (2 puntos) Dos átomos de H que se encuentran en el estado fundamental se mueven con la misma velocidad de $8.5 \cdot 10^4$ m/s y chocan. En el impacto, el 34.3% de la energía cinética inicial es absorbida por los electrones de los átomos que colisionan aunque no en la misma proporción. Se observa que, tras el impacto, uno de los átomos fue excitado al estado $n = 2$. Se desea conocer si el electrón del segundo átomo ha sido excitado hasta un nivel n (y determinarlo, si éste fuera el caso) o bien ha escapado del átomo y la velocidad con que lo ha hecho (caso de darse esta segunda posibilidad)

3.-

a) (1 punto) Determine hasta qué temperatura hay que calentar un cuerpo negro que inicialmente se encuentra a 150°C para que se duplique la energía radiada por el mismo.

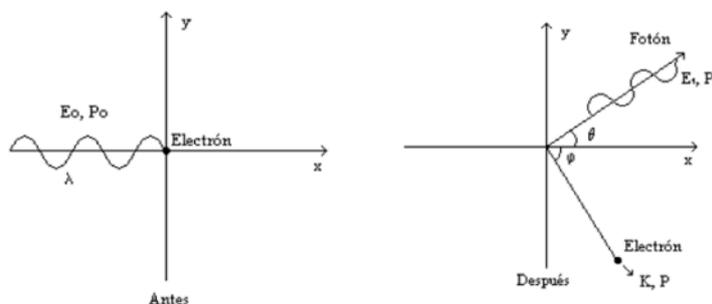
b) (1 punto) Razone cómo será la distribución de temperaturas entre los extremos de una pared homogénea en régimen estacionario con una generación de calor uniforme.

Duración: 2 horas

TEORÍA

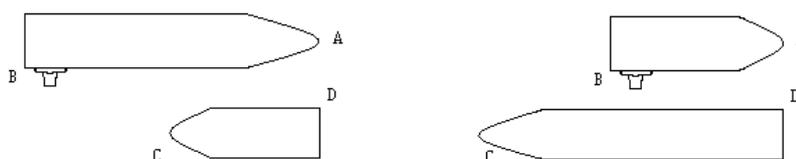
1.- (1 punto) En 1929, G. P. Thomson hizo pasar un haz de electrones a través de una delgada capa de metal y observó los patrones de interferencia formados. En otro experimento independiente, C. J. Davisson y L. H. Germer hicieron pasar un haz de electrones a través de una rejilla cristalina, obteniendo también un patrón de interferencias. Por estos trabajos, Thomson y Davisson compartieron el Premio Nobel de Física en 1937. Comente y justifique la importancia de dichos experimentos.

2.- (1 punto) Escriba las ecuaciones de conservación de la energía y cantidad de movimiento en el experimento Compton que se muestra en la Figura



3.- (1 punto) Las siguientes parejas de energías representan la energía en reposo y la energía total, respectivamente, de tres partículas diferentes: partícula 1: $E, 2E$; partícula 2: $E, 3E$; partícula 3: $2E, 4E$. Ordene las partículas de mayor a menor velocidad.

4.- (1 punto) Dos cohetes de igual longitud propia se cruzan a velocidad relativista pasando a una distancia muy pequeña entre ellos. La tripulación del primer cohete observa que, en el instante en que la punta de su nave se cruza con la cola de la otra, se le dispara por accidente el cañón de cola. Conscientes de la teoría de la Relatividad (en particular, de la contracción de Lorentz) piensan que la otra nave aún no ha llegado a la altura del cañón (panel izquierdo). Sin embargo, alguien opina que los tripulantes de la otra nave, que también son observadores inerciales, pueden igualmente plantear el argumento de la contracción de Lorentz y ver la nave superior con una longitud menor, en cuyo caso recibirían el impacto (panel derecho). Aclare cuál de las dos situaciones se da en realidad o bien si las dos son posibles en función de cada observador.



PROBLEMAS

1.- a) **(1 punto)** Sobre una partícula que realiza un movimiento unidimensional en el eje $X > 0$ actúa una fuerza dada por: $F(x) = 1/x^{5/2}$. Escriba (no es necesario resolver) la ecuación de Schrödinger que gobierna el movimiento de dicha partícula.

b) **(1 punto)** Si un muón (partícula con igual carga que el electrón pero cuya masa es 207 veces mayor) es capturado por un núcleo de plomo ($Z = 82$), el sistema resultante se comportará como un átomo monoelectrónico. Determine la energía del fotón emitido en la transición desde el primer estado excitado ($n = 2$) al estado fundamental ($n = 1$) de este átomo muónico.

2.- La función de onda de Schrödinger independiente del tiempo de una partícula que se encuentra en una región del espacio ($0 < x < L$) delimitada por barreras infinitas de potencial (pozo infinito) es:

$$\varphi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi x}{L}\right)$$

a) **(1 punto)** Determine el/los puntos en los que la probabilidad de encontrar a la partícula es máxima.

b) **(1 punto)** Determine el/los puntos en los que la probabilidad de encontrar a la partícula es mínima.

Ayuda: Puede que le resulte de utilidad la relación trigonométrica: $\operatorname{sen}(2\alpha) = 2 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{cos} \alpha$

3.- **(2 puntos)** Un electrón se encuentra en una región del espacio delimitada por barreras infinitas de potencial (pozo cuántico infinito) de $5 \cdot 10^{-10}$ m de longitud en el estado $n = 2$. El electrón salta al estado fundamental ($n = 1$) y el fotón emitido en el proceso incide sobre un metal cuya función trabajo es 2.5 eV. Determine si se producirá efecto fotoeléctrico y, en caso afirmativo, la velocidad máxima con la que saldrá el electrón arrancado.

Datos (todas las unidades en S.I.): $c = 3 \cdot 10^8$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$; $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$; $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$; $m_p = m_n = 1.67 \cdot 10^{-27}$; $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$.

TEORÍA

1.- (1 punto) Compare la exactitud que cabría esperar de la aplicación del modelo atómico de Bohr en la predicción de los niveles energéticos del átomo de hidrógeno ($Z = 1$) y en un átomo monoeléctrico de plutonio ($Z = 94$). Identifique las causas de las posibles discrepancias.

2.- (1 punto) La desintegración radiactiva se comporta según la ley de decaimiento exponencial:

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

donde $N(t)$ es el número de núcleos radiactivos existentes en el instante t , N_0 es el número de núcleos radiactivos en el instante inicial y λ es la llamada constante de desintegración radiactiva. El periodo de semidesintegración es el tiempo que transcurre hasta que la cantidad de núcleos radiactivos se reduce a la mitad de los iniciales. Sabiendo que la constante de desintegración del Radón-222 es $2.1 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, determine su periodo de semidesintegración (en días).

3.- (2 puntos) Comente críticamente el texto periodístico al dorso. Debe identificar y clarificar aquellos aspectos en los que el texto no sea demasiado riguroso (errores, imprecisiones, inexactitudes, etc). Indique, asimismo, aquellos párrafos en los que la información sea, a su juicio, más rigurosa y precisa. Puede numerar y/o subrayar los fragmentos que estime conveniente y referirse a ellos sin necesidad de transcribirlos.

Niels Bohr, la edad adulta de la Física

Fue figura esencial de una etapa clave para el conocimiento y en la que se asumió la relevancia moral y filosófica de la tarea científica

FÍSICA

MAURICIO JOSÉ SCHWARZ

Entre 1900 y 1945, poco más o menos, el mundo de la Física fue no sólo una apasionante vorágine del conocimiento y de la audacia intelectual que logró avanzar como nunca antes en la historia humana en la comprensión del universo e impuso nuevos desafíos a los científicos.

Hasta el siglo XIX, la ciencia se había ocupado de las cosas, por así decirlo, a escala humana: lapsos de tiempo medidos en segundos o años, espacios medidos en milímetros o kilómetros. Especialmente desde Newton, la Física se ocupó de los objetos a su alrededor y sus leyes, de la óptica, de los gases, de los choques, del electromagnetismo, de la gravedad, del movimiento.

A principios del siglo XX se habían dado las condiciones para escudriñar los extremos, lo enormemente grande y lo enormemente pequeño, donde no sirve el sentido común, forjado por la evolución para permitirnos vivir en la escala media.

En la escala de lo grande había cuerpos y galaxias en un espacio medido en años luz y en un tiempo de millones y miles de millones de años. La teoría de la relatividad de Einstein nos mostró que el espacio es curvo, que la velocidad de la luz es la única constante del universo, que un campo gravitacional muy fuerte puede curvar la luz o que el tiempo puede transcurrir más rápido o más lento en función de la velocidad.

En la escala de lo pequeño, la situación era aún más desafiante. En 1901, Max Planck sentó las bases de la mecánica cuántica, al determinar que la energía se emi-

ta en 'paquetes' o 'cuantos' y no de forma continua. Einstein aplicó esta visión al efecto fotoeléctrico (por el cual recibió su único premio Nobel) viendo a la luz no como un flujo continuo de energía, sino una corriente de cuantos, paquetes de energía que hoy llamamos 'fotones'.

En el huracán de avances que siguieron, Niels Bohr incorporaría un ejemplo singular de esfuerzo intelectual y de las preocupaciones filosóficas y sociales por el enorme poder que la física puso en manos humanas.

Mecánica cuántica

Niels Henrik David Bohr nació en 1885 en Copenhague, Dinamarca, en una familia dedicada ya a la ciencia, pues su padre, Christian, era profesor de Fisiología en la Universidad de Copenhague. En ella ingresó Niels en 1903 para estudiar Matemáticas y Filosofía, aunque pronto se pasaría a la Física, disciplina en la que se doctoró a los 26 años.

En 1913, Bohr revolucionó la Física al unir el modelo atómico de Ernest Rutherford con las todavía novedosas ideas de los 'cuantos' de Planck, y sugirió que los electrones del átomo existían a cierta distancia del núcleo (formado de neutrones y protones) según la energía de que dispusiera cada electrón. Si recibía un cuanto de energía, pasaba a un nivel más alto, mientras que si emitía un cuanto de energía, pasaba a uno inferior.

El modelo de Bohr por primera vez daba una explica-

ción compatible con las observaciones obtenidas en los experimentos que se llevaban a cabo en los laboratorios de su época. Hoy en día, con algunas modificaciones menores, sabemos que su modelo es correcto, es decir, que los átomos se comportan tal como decían las ecuaciones del danés. Por este logro, obtuvo el Premio Nobel de Física en 1922.

La mecánica cuántica planteaba problemas que muchos físicos, incluso Einstein y Planck esperaban que se disiparan con el tiempo. No fue así. Niels Bohr planteó el Principio de la Complementariedad, según el cual la materia puede exhibir al mismo tiempo propiedades de partícula o de onda, y que ambos puntos de vista no son contradictorios, sino complementarios. Junto con el Principio de Incertidumbre de Heisenberg, que dice que no podemos conocer todas las propiedades de un sistema cuántico al mismo tiempo, y lo desconocido sólo lo podemos expresar como probabilidades, estableció claramente que la cuántica era un mundo distinto de la Física clásica.

La descripción cuántica de

fenómenos como un hecho al que hay que plegarse. Como ambos científicos cambiaron de posición sobre distintos temas al paso del tiempo, los amables debates (resumidos en un libro por Bohr) son una lección sobre filosofía de la ciencia, pero también sobre la honesta actitud del científico capaz de abandonar aún sus teorías más amadas si hay otra más coherente con la realidad.



© MIKEL CASAL

grandes sistemas, sin embargo, da los mismos resultados que la Física clásica. Es decir, los desafíos al sentido común que plantea la cuántica no son visibles ni relevantes a escala humana (algo que suelen olvidar quienes quieren aplicar las observaciones de la mecánica cuántica a nuestra vida cotidiana).

El debate intelectual se enfrentó de pronto al hecho político. La toma del poder de los nazis en Alemania exigió tomar posición. Niels Bohr, casado y con seis hijos, recibió en su casa de Copenhague a numerosos colegas que huían de la barbarie de Hitler y donó su medalla de oro del Premio Nobel al esfuerzo finlandés de guerra.

Aviso de bomba

Fue Bohr quien informó a los Estados Unidos en 1930 de que los científicos alemanes estaban tratando de dividir el átomo, el primer paso para aprovechar y usar la energía nuclear. Esta información promovió el lanzamiento del Proyecto Manhattan que desarrolló la bomba atómica estadounidense.

Después de tres años de ocupación nazi en Dinamarca, Bohr huyó a Estados Unidos, donde colaboró en el Proyecto Manhattan. Preocupado por las consecuencias que implicaba la existencia de un arma nuclear, Bohr propuso a los gobiernos de Estados Unidos y Gran Bretaña que se compartieran los secretos atómicos con la Unión Soviética, lo que provocó que Winston Churchill llegara a considerar al físico un riesgo de seguridad que acercara a la comisión de crímenes mortales.

No resulta extraño que, al terminar la guerra, Niels Bohr dedicara todos sus esfuerzos al control del armamento nuclear y a los esfuerzos por el uso pacífico de la energía atómica, organizando el congreso 'Átomos por la paz' en Ginebra, Suiza, en 1955.

El trabajo de Bohr por la Física, sin embargo, no se detuvo, y además de encabezar el instituto hoy llamado precisamente Niels Bohr en la Universidad de Copenhague, realizó un esfuerzo titánico por crear un laboratorio internacional dedicado al conocimiento de la estructura interna de la materia, lo que hoy conocemos como CERN. Allí, el mayor instrumento científico jamás creado por el hombre, el LHC, continúa tratando de explicar cómo es el tejido del universo

LOS DEBATES CON EINSTEIN

Entre 1927 y 1955 (cuando murió Einstein), ambos físicos tuvieron una serie de debates públicos sobre la interpretación de la teoría cuántica. A Einstein le molestaba la incertidumbre que postulaba la cuántica, mientras que Bohr la de-

PROBLEMAS

1.- (2 puntos) Dos átomos de H que se encuentran en el estado fundamental se mueven con la misma velocidad de $8.5 \cdot 10^4$ m/s y chocan. En el impacto, el 34.3% de la energía cinética inicial es absorbida por los electrones de los átomos que colisionan aunque no en la misma proporción. Se observa que, tras el impacto, uno de los átomos fue excitado al estado $n = 4$. Se desea conocer si el electrón del segundo átomo ha sido excitado hasta un nivel n (y determinarlo, si éste fuera el caso) o bien ha escapado del átomo y la velocidad con que lo ha hecho (caso de darse esta segunda posibilidad)

2.- El máximo de radiancia espectral correspondiente a la luz emitida por el Sol (considerado como cuerpo negro) se produce, antes de atravesar la atmósfera, para una longitud de onda de aproximadamente 500 nm. Determine:

a) (0.5 puntos) La temperatura del Sol.

b) (0.75 puntos) La energía que irradia el Sol a través de su superficie exterior (considerada esférica) proviene de la conversión masa-energía de la relación de Einstein. Si el radio del Sol es de 695000 km, determine la tasa de pérdida de masa solar (expresada, por ejemplo, en toneladas por segundo).

c) (0.75 puntos) El Sol no permanecerá siempre en el mismo estado puesto que el combustible para realizar la fusión (y obtener así la energía) se irá agotando. Suponga un escenario en el que, sin variar apreciablemente sus dimensiones, la tasa de pérdida de masa solar sea de 10 toneladas por segundo. Determine la frecuencia a la que se producirá en este caso el máximo de radiancia espectral.

3.- Al iluminar la superficie de un metal con luz de longitud de onda 280 nm, la emisión de fotoelectrones cesa para un potencial de frenado de 1,3 V. Cuando la superficie del metal se ha oxidado, el potencial de frenado para la misma luz incidente es de 0,7 V. Razone cómo cambian, debido a la oxidación del metal:

a) (0.5 puntos) la energía cinética máxima de los fotoelectrones;

b) (0.5 puntos) la frecuencia umbral de emisión;

c) (0.5 puntos) la función trabajo;

d) (0.5 puntos) la longitud de onda de De Broglie asociada a los electrones más rápidos.

Datos (todas las unidades en S.I.): $c = 3 \cdot 10^8$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$; $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$; $m_p = m_n = 1.67 \cdot 10^{-27}$; $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$.

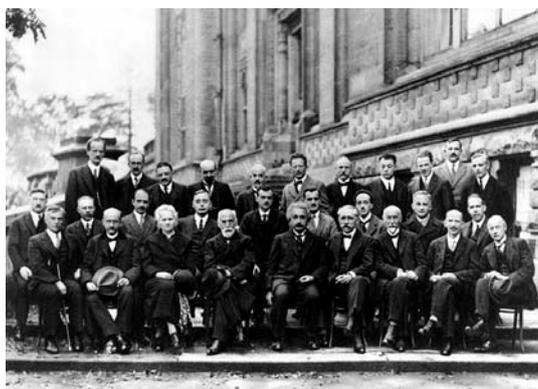
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR – UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
EXAMEN AMPLIACIÓN DE FÍSICA 03-09-11

TEORÍA

1.- (1 punto) Represente gráficamente de forma aproximada la relación entre la corriente en un experimento fotoeléctrico y el potencial aplicado para distintas intensidades de radiación incidente. Razone cómo difieren las predicciones de la teoría ondulatoria de la luz del resultado experimental.

2.- (1 punto) Dibuje esquemáticamente los niveles de energía en un semiconductor extrínseco tipo p y en uno tipo n y comente cómo afecta el dopado a la conductividad.

3.- (1 punto) En la película “Medianoche en París” (W. Allen, 2011), el protagonista imagina que puede situarse en el París de los años 20 y conversar con sus ídolos literarios y artísticos (Hemingway, Picasso, Fitzgerald, etc). Los Congresos Solvay (también llamados Conferencias Solvay) son una serie de conferencias científicas celebradas desde 1911. Al comienzo del siglo XX, estos congresos, organizados gracias al mecenazgo de Ernest Solvay, químico e industrial belga, reunían a los más grandes científicos de la época, permitiendo avances muy importantes en mecánica cuántica. El V Congreso Solvay fue la conferencia más famosa y se celebró en octubre de 1927 en Bruselas. El tema principal fue "*Electrones y Fotones*", donde los mejores físicos mundiales discutieron sobre la recientemente formulada teoría cuántica. Suponga que, al igual que en “Medianoche en París”, puede acudir al V Congreso Solvay y conversar con los allí presentes. Escriba una posible conversación científica (puede decidir si participar en ella o ser sólo oyente) entre algunos de los científicos del Congreso.



1.- Meter Debye; 2.- Irving Langmuir; 3.- Martin Knudsen; 4.- Auguste Piccard; 5.- Max Planck; 6.- William Lawrence Bragg; 7.- Émile Henriot; 8.- Paul Ehrenfest; 9.- Marie Curie; 10.- Hendrik Anthony Kramers; 11.- Edouard Herzen; 12.- Hendrik Antoon Lorentz; 13.- Théophile de Donder; 14.- Paul Adrien Maurice Dirac; 15.- Albert Einstein; 16.- Erwin Schrödinger; 17.- Arthur Holly Compton; 18.- Jules-Émile Verschaffelt; 19.- Paul Langevin; 20.- Louis-Victor de Broglie; 21.- Charles-Eugène Guye; 22.- Wolfgang Pauli; 23.- Werner Heisenberg; 24.- Max Born; 25.- Charles Thomson Rees Wilson; 26.- Ralph Howard Fowler; 27.- Léon Brillouin; 28.- Niels Bohr; 29.- Owen Willans Richardson.

4.- Razone la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

a) (0.5 puntos) La longitud propia de un objeto es siempre la misma e independiente del observador.

b) (0.5 puntos) Si en un experimento concreto se evidencia la naturaleza ondulatoria de la luz, no se podrá probar en él su carácter corpuscular.

Nota: La respuesta debe comenzar con Verdadero/Falso seguida de la explicación correspondiente

PROBLEMAS

1.-

a) **(1 punto)** Según el modelo semicuántico de Bohr, ¿cuántas vueltas por segundo da un electrón alrededor del núcleo en el primer estado excitado ($n = 2$)?

b) **(1 punto)** Un cometa se dirige a la Tierra a velocidad $0.5c$ (respecto al observatorio de la Tierra). Para destruirlo, se necesita enviar un cohete cargado de bombas que impacte con el cometa a una velocidad relativa de $0.8c$. Calcule a qué velocidad (respecto al observatorio de la Tierra) deberá lanzarse el cohete.

2.- **(2 puntos)** Un electrón se encuentra confinado en una región del espacio de 1 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) de longitud delimitada por barreras infinitas de potencial (pozo cuántico infinito). Si se dispone de un metal cuya función trabajo es de 5 eV , determine a partir de qué estado del pozo cuántico (n) el fotón emitido en la transición hasta el estado fundamental producirá efecto fotoeléctrico en el metal.

3.- **(2 puntos)** Los fotones emitidos en la transición $n = 3 \rightarrow n = 1$ en el átomo de hidrógeno se utilizan para extraer electrones por efecto fotoeléctrico de un cierto metal. Si se observa que los electrones extraídos más rápidos viajan a 10^6 m/s , determine la frecuencia umbral del metal.

Datos (todas las unidades en S.I.): $c = 3 \cdot 10^8$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$; $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$; $m_p = m_n = 1.67 \cdot 10^{-27}$; $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$.

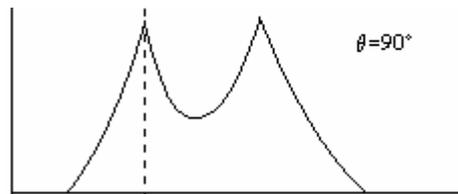
TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Comente qué inconveniente principal presentaba el modelo de Rutherford en relación con la estabilidad del átomo.
- b) **(0.5 puntos)** Razone, según el modelo atómico de Bohr, por qué en el espectro emitido por los átomos sólo aparecen ciertas líneas a distintas frecuencias.

Cuestión 2

(1 punto) Explique y justifique la presencia de un máximo en el que las longitudes de onda incidente y dispersada coinciden en los experimentos Compton (ver figura).



Cuestión 3

a) **(0.5 puntos)** Complete la siguiente expresión del teorema del trabajo y la energía cinética en versión relativista para una partícula que parte del reposo:

$$\int \vec{F} \cdot d\vec{r} = \int \frac{d}{dt} (\gamma ??) \cdot d\vec{r} = (\gamma - 1) ??$$

b) **(0.5 puntos)** Deduzca la ecuación de Schrödinger para el caso unidimensional a partir de las siguientes equivalencias entre operadores cuánticos:

$$p_x \leftrightarrow -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}; \quad E \leftrightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}.$$

Cuestión 4

(1 punto) Razone cuál es el valor de la masa en reposo de un ente que se mueva a la velocidad de la luz.

PROBLEMAS

1.- Considérese el proceso de desintegración de un mesón π (pión, $m_\pi = 273 m_e$) en un sistema de referencia en reposo respecto al pión (O'). En ese sistema, el proceso dura en promedio un tiempo de $2.5 \cdot 10^{-8}$ s. Se desea observar el fenómeno desde un sistema de referencia (O) respecto al cual el pión no está en reposo, sino que se mueve con una velocidad tal que su energía cinética es 2.5 veces su energía en reposo. Se pide:

- (1 punto) la distancia recorrida por el pión respecto al sistema de referencia O antes de desintegrarse.
- (1 punto) la energía total del pión respecto a O y a O' en el momento de su desintegración.

2.-

- (1 punto) Un electrón tiene una energía cinética de 100 eV. Determine la longitud de onda asociada a dicho electrón.
- (1 punto) Determine a qué velocidad (expresada en tanto por uno respecto a la velocidad de la luz) deberá moverse un electrón para que su masa aumente en un 0.4%. Si en vez de un electrón se tratase de un protón, ¿cómo varía el resultado anterior?

3.- Se desea determinar el valor de la constante de Planck mediante el siguiente experimento: se ilumina una lámina de potasio con luz amarilla de sodio de longitud de onda $\lambda = 5890 \text{ \AA}$ y se observa que se liberan electrones con una energía cinética máxima de 0.36 eV. A continuación se ilumina el mismo metal con una lámpara de mercurio de longitud de onda $\lambda = 2537 \text{ \AA}$ y se observa que la energía cinética máxima de los electrones liberados es de 3.144 eV.

- (1 punto) Determine el valor de la constante de Planck obtenida con el experimento.
- (1 punto) Determine la función trabajo del potasio.

Datos (todas las unidades en S.I.): $c = 3 \cdot 10^8$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$; $h = 6.6 \cdot 10^{-34}$; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$; $m_p = m_n = 1.67 \cdot 10^{-27}$; $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$.

Duración: 2 horas 30 minutos.

TEORÍA

Cuestión 1

- a) **(0.5 puntos)** Explique brevemente en qué consistió el experimento de Michelson y Morley y describa las diferencias entre los resultados que se esperaban y los que se obtuvieron. ¿A qué se atribuyeron estas diferencias?
- b) **(0.5 puntos)** La ecuación para la energía cinética relativista es:

$$K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1 \right)$$

Tomando el límite $v \ll c$, obtenga la expresión clásica para la energía cinética.

Ayuda: $(1 + x)^n \approx 1 + nx$ si $x \ll 1$

Cuestión 2

- a) **(0.5 puntos)** Explique por qué para altas frecuencias ($\nu \rightarrow \infty$), las predicciones del modelo de Rayleigh y Jeans para la radiación de un cuerpo negro discrepan de los resultados experimentales (catástrofe ultravioleta).
- b) **(0.5 puntos)** Comente algunos de los fenómenos relativos al efecto fotoeléctrico que no era posible explicar por medio de la teoría ondulatoria. Comente asimismo la explicación a dichos fenómenos que ofreció la teoría corpuscular de Einstein.

Cuestión 3 (1 punto)

Demuestre que la incertidumbre en la energía cinética, K , de una partícula que se mueve en una trayectoria rectilínea viene dada por $\Delta K = v \Delta p$, siendo v el módulo de la velocidad y Δp la incertidumbre de la cantidad de movimiento.

Cuestión 4

- a) **(0.5 puntos)** Analice cuál es el origen de la energía liberada en una reacción nuclear de fusión.
- b) **(0.5 puntos)** Describa los tres tipos de emisiones radiactivas en términos de los números atómicos Z y másicos A de los productos y los reactivos. Si se observa que un cierto tipo de emisión radiactiva pasa sin desviarse por una región en la que existe un campo eléctrico, deduzca de qué tipo de emisión se trata. Justifique la respuesta.

Tiempo estimado: 1 hora.

PROBLEMAS

Problema 1 (2 puntos)

A partir de la ecuación de la radiancia espectral

$$R_T = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2 \left(e^{h\nu/kT} - 1 \right)}$$

obtenga una expresión para la constante de Stefan-Boltzmann (σ) en función de las constantes de Boltzmann (k), Planck (h) y de la velocidad de la luz (c).

Ayuda: $\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$

Problema 2

Se realiza un experimento de dispersión Compton con rayos X de 2 \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) de longitud de onda. Determine

- (1 punto)** El tanto por ciento de energía perdida por los rayos X dispersados un ángulo de 45° .
- (1 punto)** El ángulo de dispersión para el que la energía cinética del electrón de retroceso es máxima y el valor de dicha energía máxima.

Problema 3

La función de onda espacial de una partícula libre ($U = 0$) viene dada por:

$$\varphi(x) = A \cos(kx) + B \sin(kx)$$

donde A , B y k son constantes.

- (1.5 puntos)** Demuestre que la función de onda es una solución particular de la ecuación de Schrödinger y determine los valores de energía compatibles con la solución anterior.
- (0.5 puntos)** Escriba la ecuación de normalización para la anterior función de onda (no es necesario evaluar la ecuación).

Datos: $h = 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Tiempo estimado: 2 horas