



TRABAJO PRÁCTICO N°1: Relatividad

1.1 - Una varilla de 10 cm y un cuadrado de 100 cm² están en reposo en un sistema de referencia S del observador O . La varilla está ubicada paralela a uno de los lados del cuadrado.

a) Un observador O' se mueve con velocidad $v = 0.8c$ respecto a S y en forma paralela a uno de los lados del cuadrado. ¿Qué área o longitud mide O' ? (calcular los dos casos).

b) Realizar los mismos cálculos si O' se mueve a la misma velocidad de antes en dirección de la diagonal del cuadrado.

1.2 - Dos aeronaves se aproximan entre sí.

a) Si la velocidad de cada una es de $v=0.9c$ con respecto a la Tierra, ¿Cuál es la velocidad de una respecto de la otra?

b) Ídem que en a), si la velocidad de cada una es 30000 m/s respecto de la Tierra. Note que 30000 m/s es unas cien veces la velocidad del sonido en el aire.

c) Para el caso b), ¿Cuál es el error que se comete al calcular la velocidad relativa, despreciando la relatividad?

1.3 - Un hombre A abandona la Tierra en un cohete que hace el recorrido de ida y vuelta a la estrella más próxima (α -centauri) situada a una distancia de 4 años luz, a la velocidad de $0.8c$. Su hermano gemelo B permanece en la Tierra.

a) A su regreso a la Tierra, ¿Cuánto tiempo es más joven que su hermano gemelo B ?

b) Cada año según su propio cálculo, se envían una señal entre sí:

i) ¿Cuántas señales enviará A durante su viaje?

ii) ¿Cuántas enviará B ?

1.4 - Se mide la longitud de una nave espacial y se encuentra un valor igual a la mitad de su longitud propia.

a) ¿Cuál es la velocidad de la nave?

b) ¿Cuál es la dilatación del tiempo unitario de la nave?

1.5 - Un hombre que está situado en la parte trasera de un cohete dispara una bala a alta velocidad. La velocidad de la bala medida por el hombre es de $0.6c$. El cohete tiene 60 m de largo medidos por el hombre, y se mueve con una velocidad de $0.8c$ respecto de la Tierra. Hallar:

a) La velocidad de la bala respecto de la Tierra.

b) El tiempo que tarda la bala en recorrer la longitud del cohete, medido por el observador en el cohete.

c) Ídem que b), medida por el observador en la Tierra.

1.6 - Encuentre la velocidad de un electrón de 0.1 MeV según la mecánica clásica y la relativista.

1.7 - ¿Qué campo magnético, medido en *gauss*, se necesita para curvar a un electrón de 20 MeV en una trayectoria circular de 20 m de radio?

1.8 - La masa del núcleo del Na^{24} es de 23.98493 uma (unidad de masa atómica) y la del núcleo de Mg^{24} es de 23.97846 uma. El Na^{24} es radiactivo y se desintegra según:



El ν no tiene masa. La mayor parte de la energía cinética se comparte entre el e^{-} y el ν . ¿Cuál es la energía cinética total en MeV?

1.9 - Un electrón de carga 1.6×10^{-19} C y masa 9.1×10^{-28} g, inicialmente en reposo en una de las placas de un condensador de placas paralelas, se separa de ella y se mueve en el vacío bajo la influencia del campo eléctrico del condensador hasta llegar a la otra placa. La separación entre placas es de 100 cm y la diferencia de potencial entre ellas de 10^7 V. Calcule el tiempo necesario, en el marco de referencia del condensador, para que el electrón pase de



una placa a la otra.

1.10 - La energía total de una partícula es exactamente el doble de su energía en reposo. Encuentre su velocidad.

1.11 - ¿Cuánto trabajo se debe efectuar para incrementar la velocidad de un electrón de 1.2×10^8 m/s hasta 2.4×10^8 m/s?

1.12 - La densidad de una sustancia es ρ en el sistema S , donde se encuentra en reposo.

(a) Encuentre la densidad ρ' que determinaría un observador en el sistema S' que se mueve a velocidad relativa u con respecto a S .

(b) El oro tiene una densidad de 19.3 g/cm^3 cuando la muestra se encuentra en reposo con respecto al observador. ¿Cuál es su densidad cuando la velocidad relativa es de $0.9c$?

1.13 - La energía solar llega a la Tierra a razón de aproximadamente 1400 W/m^2 de superficie perpendicular a la dirección del Sol. ¿En qué cantidad disminuye la masa del Sol por segundo? (El radio promedio de la órbita terrestre es de 1.5×10^{11} m).

1.14 - Un observador que se mueve en el sentido $+\hat{x}$ a una velocidad (dentro del sistema de laboratorio) de 2.9×10^8 m/s encuentra que la velocidad de un objeto que se mueve en el sentido $-\hat{x}$ es de 2.998×10^8 m/s. ¿Cuál es la velocidad del objeto en el sistema de laboratorio?

1.15 - ¿Cuánta masa gana un electrón al ser acelerado hasta alcanzar una energía cinética de 500 MeV? ¿Y un protón?

1.16 - Demostrar que $mv^2/2$ con $m = m_0(1 - (v/c)^2)^{-1/2}$ no es igual a la energía cinética de una partícula que se mueve a velocidades relativistas.



TRABAJO PRÁCTICO N°2: Radiación térmica, efecto fotoeléctrico, difracción de rayos X, efecto Compton y producción de pares

2.1 - Computar el número de modos disponibles en una caja cúbica de 10 cm de lado, para los siguientes intervalos.

- (a) Un intervalo de frecuencias de 10^3 Hz centrado en la longitud de onda 5000 Å.
- (b) Un intervalo de 1 Å centrado en la longitud de onda 5000 Å.

2.2 - Determinar el número de fotones en la caja del problema anterior para los dos intervalos dados, cuando la temperatura de las paredes es:

- (a) La temperatura ambiente 300 °K.
- (b) La temperatura de la superficie del Sol 6000 °K.

2.3 - Una lámpara de tungsteno de 100 W opera a una temperatura de 1800 °K, ¿Cuántos fotones emite por segundo en el intervalo de 5000 Å a 5001 Å? (La emisividad del tungsteno a 1800 °K y 5000 Å es 0.465).

2.4 - Considere la ley de desplazamiento de Wien y suponga que se tiene un radiador de cuerpo negro mantenido a una temperatura de 2500 °K. Calcule la longitud de onda para la cual la emisión alcanza un máximo, ¿Se encuentra esta onda en la región del espectro visible?

2.5 - Considerando radiación de cuerpo negro,

- (a) ¿A qué longitud de onda emite su pico de intensidad el Sol? La superficie del Sol tiene una temperatura radiante de aproximadamente 6000 °K, ¿Cómo se compara esto con el pico de sensibilidad del ojo humano?
- (b) El universo está lleno con radiación térmica que tiene un espectro de cuerpo negro de 2.7 °K. ¿Cuál es la longitud de onda pico de esa radiación? ¿Cuál es la energía en eV de un cuerpo de radiación en el pico? ¿En qué región del espectro electromagnético se encuentra esa longitud de onda?
- (c) ¿En qué región del espectro electromagnético radían los objetos que se hallan a temperatura ambiente? ¿Qué problema existiría si el ojo humano fuese sensible a esa radiación?
- (d) ¿Cómo varía la intensidad total de radiación térmica cuando se duplica la temperatura de un objeto?

2.6 - Determine el número medio de fotones por modo en una cavidad cuya temperatura es de 300 °K y 6000 °K para las siguientes longitudes de onda.

- (a) 5000 Å.
- (b) 50 μm.
- (c) 5 mm.

2.7 - Una superficie de potasio se encuentra a una distancia de 1 metro de una lamparita de 100 W. Suponga que la energía que irradia es el 5 % de la potencia de entrada y considere cada átomo como un disco de 1 Å de diámetro, que absorbe energía en un intervalo de longitud de onda de 400 a 500 nm. El filamento de la lámpara es de 5 cm de longitud y 0.2 mm de diámetro.

- (a) Calcular el tiempo requerido por el átomo para absorber una cantidad de energía igual a la función trabajo del potasio (2 eV), de acuerdo a la teoría ondulatoria.
- (b) Comparar con el tiempo experimental, que es de 10^{-9} segundos.

2.8 - La longitud de onda umbral para el potasio es de 5640 Å. ¿Cuál es el trabajo de extracción?

- (a) Si se ilumina una superficie de potasio con luz UV de 2500 Å, ¿Cuál es la energía cinética máxima de los electrones emitidos?
- (b) Suponiendo que la luz UV tiene una intensidad de 1 W/m^2 , calcule el número de electrones emitidos por unidad de área y tiempo suponiendo un rendimiento fotónico de unitario.

2.9 - El umbral fotoeléctrico del sodio (Na) es de 6800 Å. Hallar el voltaje de corte mínimo para frenar la corriente fotoeléctrica con un emisor de Na iluminado con luz monocromática de 4000 Å.

2.10 - Considere una fotocélula con emisores de Na. Se irradia la misma con radiación electromagnética de 4000 Å y 1 W/m^2 .



(a) Si la superficie irradiada es de 1 cm^2 , calcule la corriente de saturación suponiendo un rendimiento fotónico unitario.

(b) Si se da un potencial de frenado (polarización inversa) $V_1=0.85 \text{ Volt}$, se obtiene una corriente fotovoltaica de $I_1=0.1 \text{ i.s.}$ Calcular el rango de energías cinéticas de los electrones colectados.

2.11 - Consideremos una radiación de 1.54 \AA que incide sobre un cristal cúbico con una constante de red de 4 \AA . Calcule el ángulo de reflexión para el primer orden ($n=1$) en una familia de planos (100) del cristal. Si disminuimos la longitud de onda incidente, ¿Qué ocurre con el ángulo de reflexión?

2.12 - Calcule la longitud de onda mínima y la energía de los correspondientes fotones para un espectro continuo de rayos X, producido por un tubo de rayos X de 40 KV .

2.13 - En un experimento Compton un electrón alcanza una energía de 0.1 MeV cuando incide un haz de rayos X de 0.5 MeV sobre él. Calcular la longitud de onda del dispersado si el electrón estaba inicialmente en reposo. Hallar el ángulo que forma el fotón dispersado con la dirección incidente.

2.14 - Rayos X de longitud de onda 0.612 \AA son dispersados en una colisión Compton.

- ¿Cuál es la longitud de onda de la radiación dispersada observada para un ángulo de 40° con respecto a la dirección incidente?.
- ¿Cuál es la energía de los correspondientes electrones de retroceso?
- ¿Cuál es el ángulo de dispersión de los electrones?

2.15 - La longitud de onda mínima de un espectro continuo de rayos X producida por un tubo de rayos X tiene suficiente energía para producir un par electrón-positrón en un medio denso. Deducir el valor de la diferencia de tensión entre los terminales del tubo de rayos X.



TRABAJO PRÁCTICO N°3: Dualidad onda-partícula y principio de incertidumbre de Heisenberg

3.1 - Hallar las longitudes de onda de DeBroglie para los siguientes casos:

- (a) Un electrón de las siguientes energías:
 - i) Un electrón de 4 KeV.
 - ii) Un electrón de 10 MeV.

¿Qué error se comete en los apartados anteriores al emplear la formulación relativista?

- (b) Un neutrón de 0.1 eV.
- (c) Una pelota de 39 Joules y 100 g.
- (d) En los casos anteriores, ¿es posible observar los experimentos de interferencia y difracción con los átomos de una red cristalina?

3.2 - ¿Cuál debe ser el valor del potencial en los electrodos de un microscopio electrónico si se quieren observar objetos de 1 Å? Compare la energía cinética que alcanzan los electrones con su energía en reposo.

3.3 - Un haz de neutrones de 0.083 eV se dispersa en una muestra de material desconocido y se observa un pico de reflexión de Bragg centrado en 22°. ¿Cuál es la separación entre los planos de Bragg?

3.4 - Supongamos que el momento de una partícula puede calcularse con una exactitud del 0.1%. Hallar la mínima incertidumbre en la posición de la partícula si se trata de:

- (a) Una masa de 540 g que se mueve a una velocidad de 2 m/s.
- (b) Un electrón cuya velocidad es de 1810 m/s.

3.5 - ¿Cuál es la incertidumbre en la posición de un fotón cuya longitud de onda es de 3000 Å, si su longitud de onda se conoce con una exactitud de un parte en un millón?



TRABAJO PRÁCTICO N°4: Estructura atómica

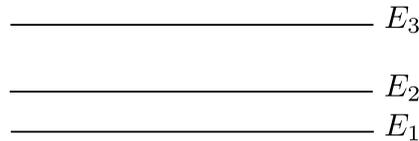
4.1 - Partiendo de la expresión para la energía de los distintos niveles del átomo de hidrógeno, despeje la función que describe la longitud de onda del fotón emitido en función del estado inicial n_i y del estado final n_f ($n_i > n_f$). Calcule numéricamente para la primera línea del espectro de Lyman ($n_i = 2, n_f = 1$).

4.2 - Corrija el nivel de energía fundamental del átomo de hidrógeno de modo de obtener el átomo hidrogenoide de muones formado por un μ^+ y un μ^- .

Datos: $m_{\mu^+} = m_{\mu^-} = 207 m_e, q_{\mu^+} = q_{\mu^-} = -q_e$.

4.3 - Escriba la configuración de los átomos de sodio $Z=11$ y titanio $Z=22$.

4.4 - ¿A cuáles transiciones entre los niveles esquematizados en la figura corresponden tres longitudes de ondas que cumplen la relación $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3$? Justifique.



4.5 - La deducción de la fórmula de dispersión de Rutherford se hizo sin tener en cuenta la teoría de la relatividad. Justificar esta aproximación calculando la relación de masas entre una partícula α de 8 MeV y una partícula α en reposo.

4.6 - Hallar la frecuencia de rotación del electrón en el modelo clásico del átomo de hidrógeno. ¿En qué región del espectro se encuentran las ondas electromagnéticas de esa frecuencia?

4.7 - La intensidad del campo eléctrico a una distancia r del centro de una esfera uniformemente cargada, de radio R y carga total Q es $E = Qr/(4\pi\epsilon_0 R^3)$ donde $r \leq R$. Semejante esfera corresponde al modelo de Thomson del átomo. Demostrar que el electrón en esta esfera ejecuta un movimiento armónico simple alrededor del centro y obtener una fórmula para la frecuencia de ese movimiento. Evaluar la frecuencia de las oscilaciones del electrón para el caso del átomo de hidrógeno y compararlo con las frecuencias de las líneas espectrales del mismo.

4.8 - Determinar la longitud de onda de la línea espectral correspondiente a la transición en el hidrógeno del estado $n=6$ al $n=3$.

4.9 - Hallar la longitud de onda del fotón emitido por un átomo de hidrógeno al pasar del estado $n=10$ a su estado fundamental.

4.10 - ¿Qué energía se requiere para extraer a un electrón del átomo de hidrógeno en el estado $n=2$?

4.11 - Un haz de electrones bombardea una muestra de hidrógeno. ¿A qué diferencia de potencial se deben acelerar los electrones si se desea que se emita la primera línea de la serie de Balmer?

4.12 - Hallar la velocidad de retroceso de un átomo de hidrógeno cuando emite un fotón al pasar del estado $n=4$ al $n=1$.

4.13 - ¿Cuántas revoluciones efectúa un electrón de un átomo de hidrógeno en el estado $n=2$ antes de caer al estado $n=1$? (La vida de un estado excitado es 10^{-8} seg., aproximadamente).

4.14 - La vida media de un estado atómico excitado es 10^{-8} seg. Si la longitud de onda de la línea espectral



asociada con la desaparición de este estado es 5000 \AA , determinar la anchura de la línea.

4.15 - Consideremos el modelo de Thomson para el átomo de hidrógeno. ¿Cuál es la frecuencia de oscilación del electrón, y por consiguiente, de la radiación emitida?

4.16 - Consideremos que un haz de partículas de 5.3 MeV incide en forma perpendicular sobre una lámina delgada de oro de $2.1 \times 10^{-7} \text{ m}$. Determine el número total de partículas dispersadas con un ángulo de entre 90° y 180° , si el número de partículas incidentes por segundo es de 10^4 .

4.17 - Deducir la energía total en función del número cuántico principal en el modelo de Böhr para el átomo de hidrógeno.

4.18 - Calcule la frecuencia de la luz emitida por el salto del nivel E_2 a E_1 en el átomo de hidrógeno.

- (a) ¿A qué color corresponde?
- (b) Repetir el cálculo para las transiciones E_∞ a E_1 .

4.19 - Partiendo de la expresión para la energía total hallada en el problema 17,

- (a) Hallar el salto de energía E entre un nivel inicial n_1 y uno final n_2 (discutir el signo).
- (b) Hallar las fórmulas de las series espectrales de:
 - Lyman* (ultravioleta), transiciones a n_1 .
 - Balmer* (visible), transiciones a n_2 .
 - Paschen* (infrarrojo), transiciones a n_3 .
 - Brackett* (infrarrojo), transiciones a n_4 .
 - Pfund* (infrarrojo), transiciones a n_5 .
- (c) Graficar en un eje de frecuencias, en unidades de 10^{15} Hz , las series obtenidas. Asociar a un diagrama de niveles de energía.

4.20 - Hallar la frecuencia a la que converge cada serie del problema anterior. ¿A qué transiciones del diagrama de niveles de energía corresponde esta frecuencia?

4.21 - ¿Cuántas vueltas de un electrón antes de decaer en un átomo de hidrógeno, de un nivel excitado $n=8$, si el tiempo de permanencia en ese nivel (tiempo de vida media de excitación) es de 10^{-8} seg ?

4.22 - El electrón del átomo de hidrógeno sufre una transición desde la órbita con velocidad $v=3.125 \times 10^5 \text{ m/s}$ a aquella con momento angular $L=3.1635 \times 10^{-34} \text{ Js}$.

- (a) ¿Cuáles son los números cuánticos de esos orbitales y sus radios?
- (b) ¿Cuál es la frecuencia del fotón emitido?



TRABAJO PRÁCTICO N°5: Ecuación de Schrödinger

5.1 - Sea la caja de potencial infinito definida por $V(x)$

$$V(x) = \begin{cases} 0, & 0 < x < a \\ +\infty, & \text{para cualquier otro caso} \end{cases}$$

- Calcule la energía del estado fundamental.
- Calcule la función de onda para ese estado y normalícela.
- ¿Cuál es la densidad de probabilidad $P(x)dx$?
- El potencial tiene un eje de simetría en $x = a$. ¿Qué implicancias tiene esto sobre las formas de las densidades de probabilidad y de las funciones de onda de cada nivel?

5.2 - Normalizar la función de onda $\Psi(x, t)$ ajustando el valor de la constante A , de modo que la probabilidad de hallar a la partícula asociada en alguna parte de la región de longitud a sea igual a uno

$$\Psi(x, t) = \begin{cases} A \operatorname{sen} \left(2\pi \frac{x}{a} \right) e^{-i2\pi Et/h} & \text{si } x \in (-a/2, a/2) \\ 0 & \text{si } x \notin (-a/2, a/2) \end{cases}$$

5.3 - Una partícula se encuentra en el estado fundamental en un pozo de potencial infinito de tamaño $2a$. ¿Cuál es la probabilidad de encontrar a la partícula en $x = 0.01a$ para:

- $x=0$
- $x=a/2$
- $x=3a/2$

(Ayuda: dado que x es muy pequeño respecto al ancho del pozo no se necesita integrar).

5.4 - Hacer el problema anterior para una partícula en el primer y segundo estado excitado.

5.5 - Una masa de 10^{-6} g se mueve con velocidad aproximada de 0.1 cm/seg, en una caja de 1 cm de longitud. Considerando este como un problema de un pozo infinito unidimensional, calcular el valor aproximado de n .

5.6 - Un electrón de 4 eV de energía cinética alcanza repentinamente una región en donde su energía potencial disminuye en 5 eV, de modo que su energía cinética aumenta a 9 eV. Encuentre la probabilidad de que el electrón sea reflejado en este escalón de potencial.