22 OLIMPIADA INTERNACIONAL DE FÍSICA
HAVANA, CUBA, 1991

Problema 1. La figura 1.1 muestra una bola sólida, homogénea de radio R. Antes de caer al suelo su centro de masa está en reposo, pero la bola está girando con velocidad angular ω_0 alrededor de un eje horizontal que pasa por su centro. El punto más bajo de la bola se encuentra en una altura h sobre el suelo.

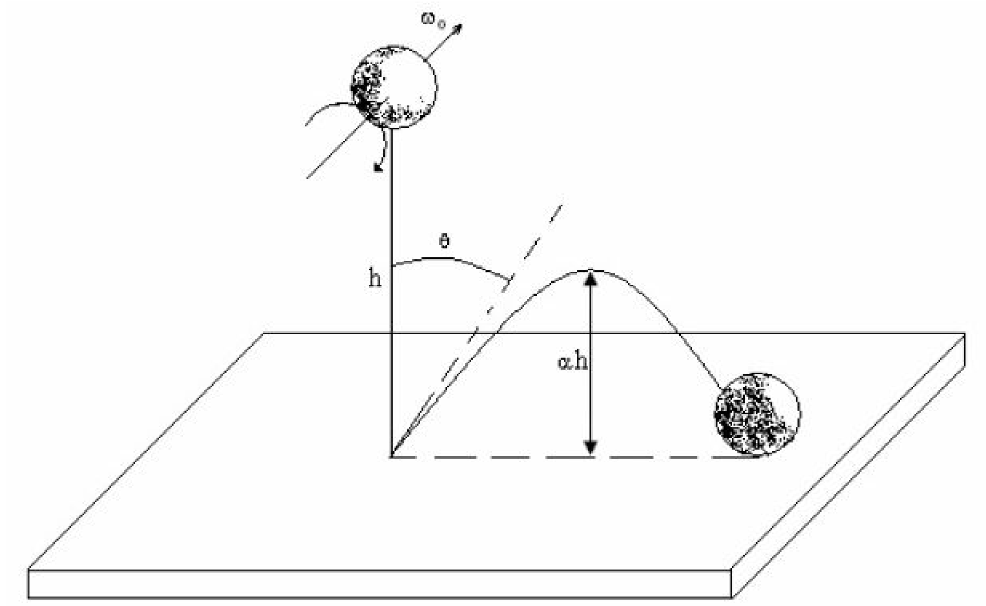

Figure 1.1

Cuando se libera, la bola cae bajo gravedad, y los rebotes a una nueva altura de tal manera que su punto más bajo ahora es ah por encima del suelo. La deformación de la pelota y el suelo en el impacto puede considerarse despreciable. Ignorar la presencia del aire. El tiempo de impacto, sin embargo, es finito.

La masa de la pelota es m, la aceleración debida a la gravedad es g, el coeficiente de fricción dinámico entre la bola y el suelo es μ_k, y el momento de inercia de la bola sobre el eje dado es:

$$I = \frac{2mR^2}{5}$$

Se requiere considerar dos situaciones, en la primera, la bola se desliza durante el tiempo de impacto entero, y en la segunda las paradas de deslizamiento antes del final del tiempo de impacto.

Situación I El deslizamiento a través del impacto.

Encontrar:

(a) $\tan\theta$, donde θ es el ángulo de rebote indica en el diagrama;

(b) la distancia horizontal recorrida en vuelo entre el primer y segundo impacto;

(c) el valor mínimo de ω_0 para estas situaciones.

Situación II el deslizamiento de una parte de los impactos.
Buscar de nuevo:
(a) $\tan\theta$;
(b) la distancia horizontal recorrida en vuelo entre el primer y segundo impacto. Tomando las dos situaciones anteriores en cuenta, dibuje la variación de $\tan\theta$ con ω_0.

Problema 2. En un circuito cerrado cuadrado con una longitud de lado L, un gran número de bolas de radio insignificante y cada uno con una carga q se están moviendo a una velocidad u con una separación constante a entre ellos, como se ve desde un marco de referencia que se fija con respecto al circuito cerrado. Las bolas están puestos en el circuito cerrado como las perlas de un collar, siendo L mucho mayor que a, como se indica en la figura 2.1. El cable no conductor formando el circuito cerrado tiene una densidad de carga homogénea por unidad de longitud en el en el marco del circuito cerrado. Su carga total es igual y opuesta a la carga total de las bolas en ese marco.

Consideremos la situación en que se mueve el circuito cerrado con velocidad v paralela a su lado AB (fig. 2.1) a través de un campo eléctrico homogéneo de fuerza E que es perpendicular a la velocidad del circuito cerrado y forma un ángulo θ con el plano del circuito cerrado.

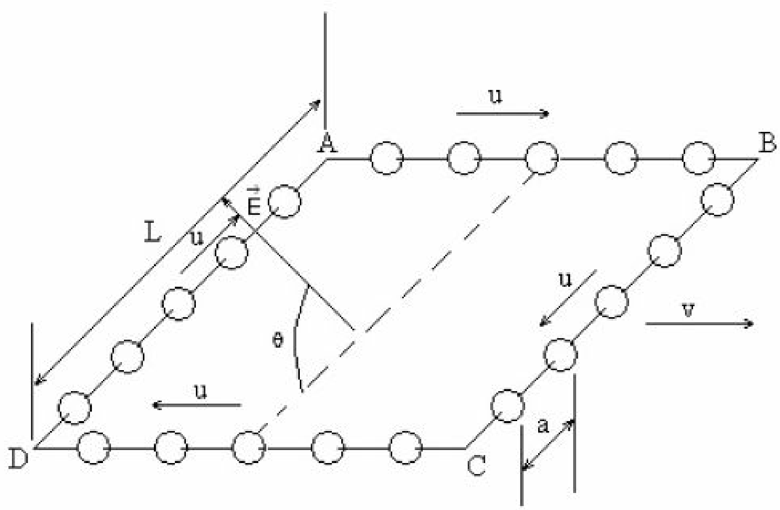

Figure 2.1

Teniendo en cuenta los efectos relativistas, calcular las magnitudes siguientes en el marco de referencia de un observador que ve el circuito cerraddo que se mueve con velocidad v:

a) El espaciamiento entre las bolas en cada uno de los lados del circuito cerrado, a_{AB}, a_{BC}, a_{CD}, y a_{DA}.
b) El valor de la carga neta del circuito cerrado más bolas en cada uno de los lados del circuito cerrado: Q_{AB}, Q_{BC}, Q_{CD}, y Q_{DA}.
c) El módulo M del torque eléctricamente producido tiende a hacer girar el sistema del circuito cerrado y las bolas.
d) La energía W debido a la interacción del sistema, que consiste del circuito cerrado y las bolas con el campo eléctrico.

Todas sus respuestas deben ser dados en términos de las cantidades especíñcadas en el problema.
Note. La carga eléctrica de un objeto aislado es independiente del marco de referencia en el que las mediciones se lleva a cabo. Todos los efectos de la radiación electromagnética puede ser ignorado.

Algunas fórmulas de la relatividad especial

Considere un marco de referencia S' moviéndose con velocidad V, con referencia a otro marco de referencia S. Los ejes de las marcos son paralelos, y sus orígenes coinciden en $t = 0$. V está dirigida a lo largo de la dirección positiva del eje x.

Suma relativista de velocidades

Si una partícula se mueve con velocidad u' en la dirección x', como medido en S', la velocidad de la partícula medido en S está dada por:

$$u = \frac{u' + V}{1 + \frac{u'V}{c^2}}$$

La contracción relativista

Si un objeto en reposo en el marco S tiene longitud L_0 en la dirección x, un observador en el marco S' (que se mueve a velocidad V en la dirección x) su longitud medirá:

$$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Problema 3 (Los átomos de enfriamiento por láser)**.** Para estudiar las propiedades de los átomos aislados con un alto grado de precisión debe mantenerse casi en reposo durante un periodo de tiempo. Un método se ha desarrollado recientemente para hacer esto. Se llama “enfriamiento láser” y se ilustra mediante el siguiente problema.

En una cámara vacía y un rayo colimado de átomos de Na^{23} (procedente de la evaporación de una muestra a 10^3 K) se ilumina de frente con una alta intensidad del rayo láser (fig. 3.1). La frecuencia del láser se elige de manera que habrá absorción de resonancia de un fotón por esos átomos cuya velocidad es v_0. Cuando la luz es absorbido, estos átomos se salen al primer nivel de energía, que tiene un valor medio E encima del estado fundamental y la incertidumbre de Γ (fig. 3,2).

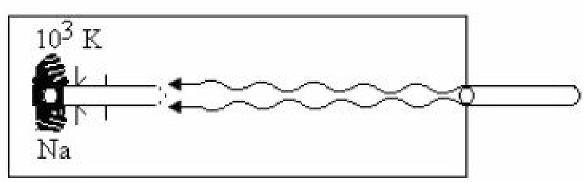

Figure 3.1

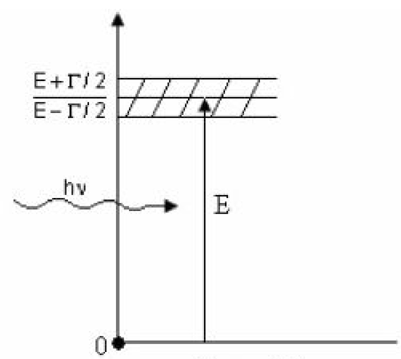

Figure 3.2

Para este proceso, el átomo en disminución en la velocidad Δv_1 está dado por $\Delta v_1 = v_1 - v_0$. La luz es entonces emitida por el átomo como lo devuelve a su estado fundamental. La velocidad del átomo cambia por $\Delta v' = v_1' - v_1$ y su dirección de movimiento cambia por un ángulo φ (fig. 3.3).

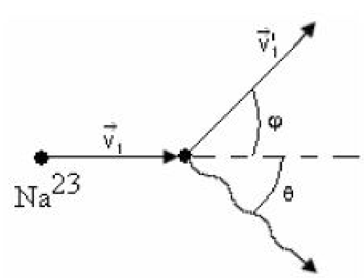

Figure 3.3

Esta secuencia de absorción y emisión tiene lugar muchas veces hasta que la velocidad de los átomos ha disminuido por una cantidad dada Δv tal que la absorción de resonancia de luz en frecuencia v ya no se produce. Es entonces necesario para cambiar la frecuencia del láser a fin de mantener la absorción de resonancia. Los átomos se mueven a la nueva velocidad descendiendo aún más hasta que algunos de ellos tienen una velocidad cercana a cero.

Como primera aproximación, podemos ignorar los procesos de interacción atómica, aparte de la absorción espontánea y emisión de luz descrito anteriormente.
Por otra parte, podemos suponer que el láser es tan intenso que los átomos pasan prácticamente en nada de tiempo al estado fundamental.

Preguntas

a) Determinar la frecuencia del láser necesitando garantizar la absorción de resonancia de la luz por esos átomos cuya energía cinética de los átomos están dentro de la región detrás del colimador. También encuentre la reducción en la velocidad de estos átomos, Δv_1, después del proceso de absorción.
b) La luz de la frecuencia calculada en la pregunta a) es absorbida por los átomos que se encuentran a velocidades dentro de un rango Δv_0. Calcular el rango de velocidad.
c) Cuando un átomo emite luz, la dirección del movimiento cambia por φ de la dirección inicial. Calcular φ.
d) Buscar la máxima disminución de velocidad posible Δv para una frecuencia dada.
e) ¿Cuál es el número aproximado N de eventos de emisión de la absorción necesarias para reducir la velocidad de un átomo del valor inicial v_0 encontrado en la pregunta anetior a) , casi a cero? Supongamos que el átomo se desplaza en una línea recta.
f) Buscar el tiempo t que el proceso toma en la pregunta e). Calcular la distancia ΔS que un átomo viaja en este tiempo.

Datos

$E = 3.36{\cdot}10^{-19}$ J
$\Gamma = 7.0{\cdot}10^{-27}$ J
$c = 3 \cdot 10^8$ ms^{-1}
$m_p = 1.67{\cdot}10^{-27}$ kg
$h = 6.62{\cdot}10^{-34}$ Js
$k = 1.38{\cdot}10^{-23}$ JK^{-1}

donde c es la velocidad de la luz, h es la constante de Planck, k es la constante de Boltzmann y m_p es la masa del protón.