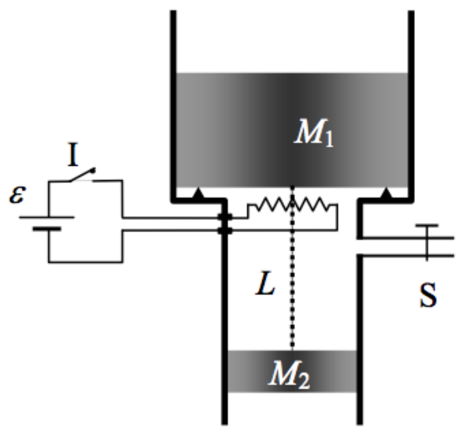
Problema 1 Un estudiante aficionado a la física y a la tecnología ha ideado un dispositivo capaz de funcionar como un gato que permita levantar cuerpos a pequeñas alturas. El dispositivo consiste en un tubo cilíndrico vertical con secciones diferentes; en la parte superior tiene un radio $r = 9.00\,\text{cm}$ y en la inferior $r = 7.00\,\text{cm}$, tal como se representan en la figura 1.



Dentro del tubo hay dos émbolos de masas $M_1 = 4.00\,\text{kg}$ y $M_1 = 0.90\,\text{kg}$, unidos mediante una cadena inextensible, de longitud $L = 1.00\,\text{m}$ y masa $m_c = 0.1\,\text{kg}$. Los émbolos, que ajustan perfectamente en el tubo, pueden deslizar sin fricción. Todos los materiales con los que se ha construido el sistema son perfectos aislantes del calor. Mediante la llave S se puede igualar la presión del espacio comprendido entre los émbolos con la atmosférica del exterior, $p_{at} = 1.01 \times 10^5\,\text{Pa}$. Con la llave S abierta, la base inferior de M_1 se apoya sobre unos pequeños pivotes que tienen como objeto, entre otros, dejar espacio para alojar una resistencia eléctrica de calefacción que se alimenta con una batería $\mathcal{E}$ cuando se cierra el interruptor I.
Se supone que en el estado inicial (que es el representado en la figura 1), la temperatura de todo el sistema es la ambiente, $T_a = 3.00 \times 10^2\,\text{K}$. A continuación, se cierra la llave S y se mantiene cerrada en todo lo que sigue. Considera que el aire se comporta como un gas perfecto diatómico de densidad $\rho = 1.29\,\text{kg/m}^3$.

1) Determina la masa de aire, m_{aire}, encerrada entre los émbolos. Comprueba que esta masa es mucho menor que la del sistema deslizante (émbolos + cadena) y, por este motivo, no se considerará en el resto del problema.

2) Con objeto de levantar los émbolos (gato termodinámico), al aire encerrado entre ambos se le suministra lentamente calor mediante una resistencia eléctrica. En consecuencia, la presión interior variará. ¿Cuál es el valor de la presión crítica, p_c, para la cual los émbolos comenzarán su ascenso? (Toma $g = 9.81\,\text{m/s}^2$).

3) Desde el estado inicial hasta que los émbolos comienzan a ascender,

a) ¿Qué tipo de proceso termodinámico ha tenido lugar?

b) ¿Cuál es la temperatura, T_1 , del aire al comenzar el ascenso?

c) ¿Cuánto calor, Q_1 , habrá sido necesario suministrar para que M_1 empiece a ascender?

4) Una vez que M_1 despega, se produce la acción útil del gato elevando este émbolo hasta una altura $h = 20.0\,\text{cm}$. Supóngase que la elevación es muy lenta para poder despreciar la energía cinética del sistema.

a) ¿Qué tipo de proceso termodinámico ha tenido lugar?

b) Calcula la temperatura, T_2 , del gas al final de este proceso.

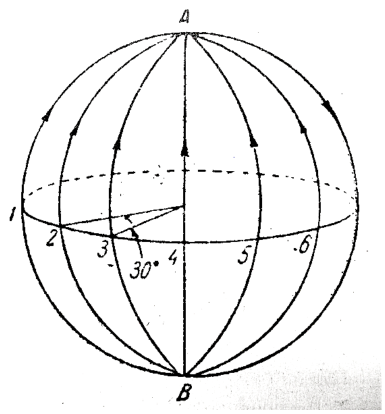
c) ¿Cuánto calor adicional, Q_2 , habrá sido necesario suministrar al gas?

5) Si se considera como trabajo útil el necesario para levantar el émbolo M_1 la altura h, calcula la relación, expresada en %, entre dicho trabajo y el calor total suministrado, lo que puede llamarse rendimiento, η, del proceso.

6) Para que el sistema evolucione lentamente, el suministro de calor se realiza mediante una resistencia $r = 1.00\,\text{k}\Omega$ conectada a una batería, de resistencia interna despreciable y fuerza electromotriz $\mathcal{E} = 50.0\,\text{V}$. Calcula el tiempo, t, que deberá estar conectada la batería durante todo el proceso.

7) Representa en un diagrama Presión-Volumen el proceso seguido por el gas (aire) desde el estado inicial hasta que M_1 haya subido la altura h.

Problema 2 Una esfera de radio R esta devanada con un alambre fino de tal modo que las espiras están colocadas sobre los círculos máximos, interceptándose en los extremos de un mismo diámetro AB. El número de espiras es seis y los planos entre cada par de espiras forman un ángulo de 30°; por el alambre circula una corriente de intensidad I. Hallar la magnitud y la dirección de la intensidad B del campo en el cetro de la esfera.



Problema 3

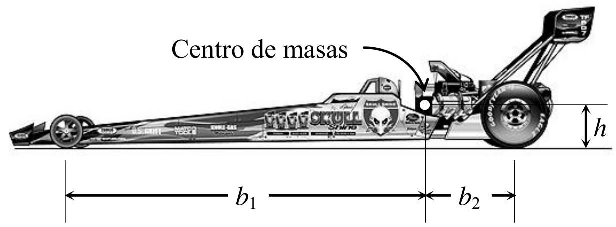
3.1) Dos relojes atómicos se sincronizan con sumo cuidado. Uno permanece en Nueva York, y el otro se coloca a bordo de un avión que viaja con una rapidez media de 250 m/s y luego regresa a Nueva York. Cuando el avión regresa, el tiempo transcurrido en el reloj que se quedó en tierra fue de 4.00 h. ¿En cuánto difieren las lecturas de los dos relojes y cuál de ellos registrará el menor tiempo transcurrido?

3.2) Einstein y Lorentz, dos entusiastas tenistas, juegan un juego rápido en una cancha donde se hallan a 20.0 m uno del otro. Por ser jugadores muy diestros, juegan sin red. La pelota de tenis tiene una masa de 0.0580 kg. Ignore la gravedad y suponga que la pelota viaja paralela al piso cuando va de un jugador a otro. A menos que se especifique otra cosa, los dos jugadores realizan todas las mediciones.

- **a)** Lorentz pone en juego la pelota a 80.0 m/s, ¿Cuál es la energía cinética de la pelota?
- **b)** Einstein la devuelve con mucha energía a 1.8×10^8 m/s, ¿Cuál es la energía cinética de la pelota?
- **c)** Mientras Einstein devuelve la pelota en el inciso a), un conejo blanco corre a un costado de la cancha en dirección de Einstein a Lorentz. La rapidez del conejo es de 2.20×10^8 m/s con respecto de los dos hombres. ¿Cuál es la rapidez del conejo con respecto a la pelota?
- **d)** ¿Cuál es para el conejo la distancia entre Einstein y Lorentz?
- **e)** ¿Cuánto tiempo tarda el conejo en correr 20.0 m, según los jugadores?
- **f)** El conejo blanco lleva un reloj de bolsillo, y lo utiliza para medir el tiempo (desde su punto de vista) que tarda en recorrer la distancia entre Einstein y Lorentz. ¿Cuánto tiempo mide?

Problema 4

Los *dragster* son una especie de coches alargados que compiten en carreras de aceleración, en las que en cortos recorridos rectos alcanzan elevadas velocidades en pocos segundos. En la fotografía adjunta de uno de estos engendros, se muestra con un círculo blanco la posición del centro de masas y algunos parámetros geométricos que necesitaremos.



Aunque juegan un papel muy importante, para simplificar el problema, no se va a tener en cuenta la influencia de los elementos aerodinámicos (alerones) que hay tanto en la parte anterior como en la posterior del dragster. Se considera que en todo momento las ruedas motrices ruedan sin deslizar.

La fuerza de rozamiento entre la pista y las ruedas motrices (las posteriores, naturalmente) es la que hace avanzar el coche. Lógicamente, para que la aceleración sea máxima interesa que dicha fuerza de rozamiento lo sea también.

a) Haga un dibujo esquemático del dragster indicando las fuerzas exteriores que actúan sobre él durante el proceso de aceleración.

b) Sin tener en cuenta ningún tipo de fuerza de resistencia, salvo la de rozamiento con la pista, y tomando como coeficiente de rozamiento $\mu = 0{,}90$ y como valor de la aceleración de la gravedad $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$, obtenga la expresión de la aceleración máxima del vehículo, a_{max}, y calcule su valor.

La distribución de las fuerzas, es decir las relaciones entre b_1, b_2 y h son determinantes para lograr la máxima aceleración.

c) Determine la relación que debe existir entre b_2 y h para que la aceleración sea máxima sin que el dragster haga el "caballito", es decir, manteniendo las cuatro ruedas sobre el suelo durante todo el recorrido.

d) Si la longitud de la pista es $L = 400\ \text{m}$, determine las expresiones de la velocidad al final del recorrido, V_f, y del tiempo transcurrido en el recorrido, T_f, y calcule sus valores. Considere que en todo momento el vehículo se mueve con la aceleración máxima.

Una vez recorrida la pista de aceleración, cuando se supone que su velocidad es la máxima, V_f, los dragster despliegan un paracaídas[2] para frenar. La fuerza de resistencia que ejerce el paracaídas es:

$$F_R = \frac{1}{2}\rho\, S\, C_D\, v^2$$

En la que v es la velocidad del dragster, $\rho = 1{,}2\ \text{kg/m}^3$ es la densidad del aire, $S = 3{,}0\ \text{m}^2$ la superficie que el paracaídas presenta al flujo de aire y $C_D = 1{,}2$ un coeficiente, llamado *de forma*, que supondremos independiente de la velocidad.

e) Si la masa del dragster es $M = 1{,}5 \times 10^3\ \text{kg}$ y despreciando cualquier otra fuerza de rozamiento, determine el tiempo T_p que transcurre desde que el piloto abre el paracaídas hasta que la velocidad del dragster se reduce en un 50%, es decir a un valor $V_p = V_f / 2$.

Ayuda: $\displaystyle\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x^2} = \frac{1}{x_1} - \frac{1}{x_2}$