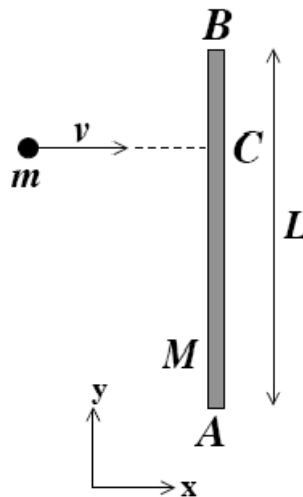


QUESTÃO 1 - (15 pontos) Os raios são provocados pelo acúmulo de carga elétrica nas nuvens devido ao atrito destas na atmosfera superior. Quando o fenômeno ocorre, uma quantidade enorme de energia é liberada numa fração pequena de tempo. Consideremos W como sendo a energia liberada pelo raio por unidade de comprimento e f como a frequência sonora dominante do relâmpago.

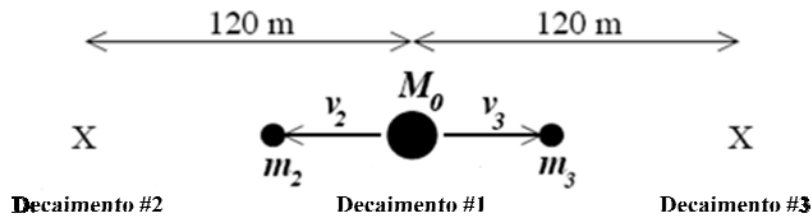
- (10 pontos)** Utilizando análise dimensional, expresse W em termos de f e dos parâmetros físicos envolvidos neste fenômeno, tais como a velocidade do som no ar, a densidade do ar, entre outros.
- (5 pontos)** Em condições normais, um relâmpago é detectado como uma frequência característica $f = 100\text{Hz}$, a velocidade do som no ar $v = 343\text{m/s}$ e o comprimento do raio de aproximadamente 1km . Estime a energia total liberada pelo raio e a compare com a energia liberada por uma tonelada de TNT, equivalente a $4,6 \times 10^9 \text{ J}$.

QUESTÃO 2 - (20 pontos) Uma barra uniforme de massa M e comprimento $AB = L$ encontra-se parada na vertical sob a ação da gravidade, alinhada com o eixo y , como mostrado na figura abaixo. Um objeto de massa m movimentando-se ao longo da direção x e com velocidade v colide com a barra no ponto C (utilize $I = \frac{1}{12}ML^2$ como momento de inércia da barra com relação ao seu centro de massa).

- (5 pontos)** Em qual ponto deve colidir com a barra o objeto de massa m para que imediatamente após a colisão esta tenha um eixo de rotação puro em torno do ponto A ? Expresse a sua resposta em termos das distâncias AC e L .
- (15 pontos)** Assuma agora que o objeto m colide com a barra no ponto C de tal forma que $AC = 3L/4$ e que a colisão seja elástica. Após a colisão, quando a barra ficar alinhada ao longo do eixo x , pela primeira vez, qual será a distância entre o ponto B na barra e o objeto de massa m ? Para que seus cálculos fiquem mais simples assuma $m=M$ e expresse seu resultado em termos de L .



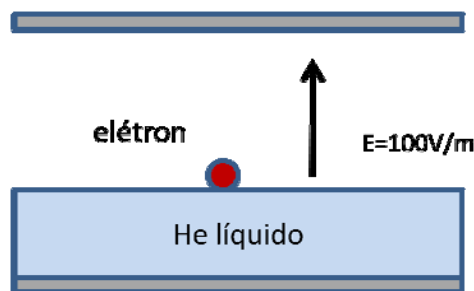
QUESTÃO 3 - (35 Pontos) Uma partícula subatômica instável (**partícula #1**) tem massa de repouso $M_0 = 350 \text{ MeV}/c^2$. Com relação ao referencial laboratório a partícula está em repouso na origem das coordenadas. Em $t=0$, a partir do referencial laboratório, a partícula decai (**decaimento #1**) em duas partículas (**partículas #2 e #3**) cujas massas de repouso são $m_{2,0}$ e $m_{3,0}$, movimentando-se para longe da origem com velocidades v_2 e v_3 relativas ao referencial laboratório. Assuma que a **partícula #2** movimentar-se ao longo da direção $-x$, conforme indicado na figura abaixo.



As **partículas #2 e #3** também são instáveis e decaem (**decaimentos #2 e #3**), após estas moverem-se distâncias iguais a $d_2=d_3=120\text{m}$, medida por observadores no referencial do laboratório. O tempo de vida da **partícula #2** é $\tau_2 = 3 \times 10^{-7} \text{ seg.}$, e sua massa de repouso $m_{2,0}=90 \text{ MeV}/c^2$.

- (5 pontos) Calcule a velocidade v_2 (em unidades da velocidade da luz c) da **partícula #2** relativa ao referencial laboratório após o **decaimento #1**.
- (5 pontos) Calcule a massa de repouso $m_{3,0}$ (em MeV/c^2) e a velocidade v_3 (em unidades de c) da **partícula #3** relativa ao referencial laboratório após o **decaimento #1**.
- (5 pontos) Calcule o tempo de decaimento da **partícula #3** a partir do repouso.
- (10 pontos) É possível encontrar um referencial inercial S' no qual o **decaimento #1** ocorra após o **decaimento #2**? Em caso afirmativo, calcule a mínima velocidade relativa (magnitude e direção) de S' com relação ao referencial laboratório. Caso contrário explique.
- (10 pontos) Com relação a um observador num referencial inercial movimentando-se junto com a **partícula #2**, quanto tempo será necessário para que a **partícula #3** decaia?

QUESTÃO 4 – (30 pontos) Elétrons podem permanecer confinados sob uma superfície de Hélio líquido a temperaturas menores que 1K. Nesta situação a superfície é extremamente lisa e pode ser considerada como uma barreira infinita de potencial para estas partículas, ou seja, o elétron não penetra nesta região. Nesta situação é possível montar um arranjo experimental no formato de um capacitor, como mostrado na figura abaixo, onde o He líquido é colocado entre duas placas de um capacitor, e um campo elétrico é aplicado. No nosso caso consideremos que este campo é constante e vale $E = 100\text{V/m}$. Com esta montagem o elétron fica confinado nas proximidades da superfície de He. Desconsidere todos os efeitos gerados pela carga imagem do elétron na superfície.



- (10 pontos) Determine a forma do potencial ao qual o elétron fica submetido (faça um esboço).
- (20 pontos) Determine a ordem de grandeza da incerteza na determinação da posição do elétron nas proximidades da superfície do He.