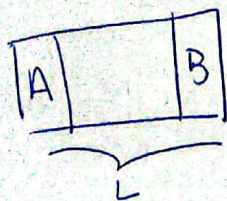


24/11/23

Equivalência massa-energia

Para demonstrar a equivalência massa-energia, James imagina um cilindro de comprimento L e massa M . Em suas extremidades há duas massas A e B de forma que $m_A, m_B \ll M$.



O corpo A transmite uma energia ΔE para B em forma de radiação eletromagnética. Os processos de emissão e absorção são instantâneos.

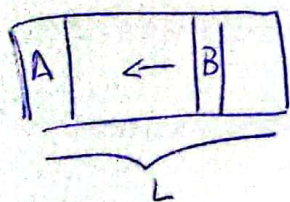
Vimos anteriormente que radiação transmite momento: $\Delta P = \Delta E / c$.

A lei de conservação de momento implica que o centro de massa do cilindro adquire um momento $-\Delta P$ (reverso) no sentido $B \rightarrow A$.

Durante o tempo que a radiação leva para atravessar o cilindro ($t = L/c$), o CM se desloca de:

$$\frac{-\Delta P}{M} t = -\frac{\Delta E}{Mc} \cdot \frac{L}{c} = -\frac{L}{Mc^2} \Delta E \quad (\text{sentido } B \rightarrow A).$$

Após a absorção da radiação, o corpo B se desloca (sob efeito de forças internas ao sistema) com velocidade v até atingir A.



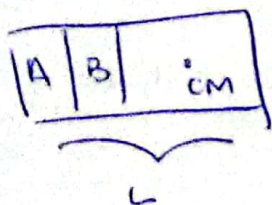
Após a absorção de ΔE , a massa de B é m_1

Pela conservação de momento total, o CM se desloca durante o movimento de B com velocidade $V = \frac{m_1 v}{M}$ no sentido $A \rightarrow B$.

Então: $\frac{VL}{v} = \frac{m_1 L}{M}$ no sentido $A \rightarrow B$.

durante $t = \frac{L}{v}$ até B atingir A.

Quando B atinge A:



B transfere para A a energia ΔE que absorveu, ficando com massa m_2 e volta para a outra extremidade.

De forma análoga, o CM se desloca de $-\frac{m_2}{M} L$ de $B \rightarrow A$.

As final:

a energia é idêntica à inicial.



O deslocamento resultante do CM é:

$$\Delta x_{cm} = \frac{L}{M} \left(m_1 - m_2 - \frac{\Delta E}{c^2} \right) \text{ sentido } A \rightarrow B.$$

Como $E_i = E_f$, o deslocamento Δx do CM deve ser zero, então:

$$\Delta x_{cm} = 0 \Rightarrow m_1 - m_2 = \frac{\Delta E}{c^2}$$

A variação de massa do corpo B se deve à transferência de energia ΔE !!

Essa energia pode ser armazenada por B de qualquer forma:

- térmica
- potencial
- química
- etc ...

Então qualquer forma de energia tem inércia.

A massa inercial m associada à energia E é dada por

$$E = m c^2 \text{ (relatividade restrita).}$$

Para processos macroscópicos: variações de massa devido à variação de energia é muito pequena.

Essa observação é mais comum para processos radiativos,

em que a energia liberada é bem maior .

Ex: fusão e fissão de núcleos e decaimentos de núcleos .