

# Física General IV - Curso 2008

## Práctica 8: Mecánica Relativista II\*

6 de noviembre de 2008

**Problema 1.** A partir de la conservación del impulso y la energía relativistas:

- a) Deduzca la expresión para el corrimiento en  $\lambda$  en el efecto Compton.
- b) Pruebe que un electrón libre no puede absorber un fotón.

**Problema 2.** Demuestre que la energía total relativista se reduce a la expresión clásica (salvo el término de energía en reposo) en el límite de bajas velocidades  $p \ll mc$ .

**Problema 3.** Un electrón se mueve a velocidad  $v = 1,8 \times 10^8 m/s$  con respecto a un dado observador inercial. Indicar su energía total y su energía cinética.

**Problema 4.** Un protón es acelerado hasta que su energía cinética es igual a su energía en reposo. Hallar la relación  $v/c$ .

**Problema 5.** Un pión en reposo ( $m_\pi = 272m_e$ ) se desintegra produciendo un muón ( $m_\mu = 207m_e$ ) y un antineutrino ( $m_\nu \sim 0$ ). La reacción se describe mediante la expresión

$$\pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu} \quad (1)$$

Encontrar la energía cinética del muón y la energía del antineutrino. (Hint: la cantidad de movimiento relativista se conserva).

**Problema 6.** La energía procedente del sol alcanza la alta atmósfera terrestre con una tasa de  $1,79 \times 10^{17} W$ . Si toda esta energía fuera absorbida por la tierra y no fuera reemitida, ¿cuánto se incrementaría la masa de la Tierra en un año?. Comparar este resultado con la masa total terrestre.

**Problema 7.** Una partícula de masa  $m$  se mueve con velocidad  $v = 0,8c$  respecto a un observador inercial  $O$ . La partícula sufre una colisión completamente inelástica con otra partícula de masa  $3m$  que inicialmente estaba en reposo (respecto a  $O$ ).

a) ¿Cuál es la velocidad y la masa de la partícula (en términos de  $m$ ) después del choque?.

---

\*Las prácticas están disponibles en la página: [www.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisica4gral/](http://www.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisica4gral/)

b) Calcule la energía cinética antes y después del choque. ¿Se conserva?

**Problema 8.** La velocidad de la luz en el agua es  $c/n$ , donde el índice de refracción del agua es  $n \approx 4/3$ . Fizeau, en 1851, encontró que la velocidad de la luz (medida en el sistema laboratorio) en un flujo de agua con velocidad  $V$  podía expresarse como:

$$u = \frac{c}{n} + kV \quad (2)$$

donde el “coeficiente de arrastre” fue medido por Fizeau quien encontró  $k \approx 0,44$ . Determine el valor de  $k$  predicho por las transformaciones de velocidades de Lorentz. (Hint: Tenga en cuenta que en general  $V \ll c$ )

**Problema 9.** El principal ejemplo de la equivalencia entre masa y energía es el que suministran las reacciones termonucleares que tienen lugar en estrellas como el Sol. Experimentalmente se ha establecido que la energía radiante del Sol incide sobre la Tierra a un ritmo de  $1,35 \times 10^3 \text{watts}/\text{m}^2$  por unidad de tiempo.

a) Con estos datos calcule la pérdida de masa del Sol por segundo y compárela con la masa total del Sol.

b) Este fenómeno tiene lugar como consecuencia de cadenas de reacciones nucleares, entre ellas la conversión del Hidrógeno ( ${}^1H$ ) en Helio ( ${}^4He$ ). Por supuesto, existen cuatro átomos de hidrógeno que terminan en un átomo de Helio y el proceso tiene lugar según varios pasos diferentes. Uno de estos pasos es el siguiente:



donde un protón ( $p$ ) se fusiona con un deuterón  $D$  dando lugar a un sistema compuesto por dos protones y un neutrón, que es la composición nuclear del  ${}^3He$ . Pero de acuerdo a las medidas realizadas con el espectrómetro de masas, la masa de esa combinación es superior a la masa del  ${}^3He$  en su estado normal. Los valores aproximados son:

$$\begin{aligned} m_{proton} &= 1,6724 \times 10^{-27} \text{kg} \\ m_{deuteron} &= 3,3432 \times 10^{-27} \text{kg} \\ m_{nucleo\ de\ } {}^3He &= 5,0058 \times 10^{-27} \text{kg}. \end{aligned} \quad (4)$$

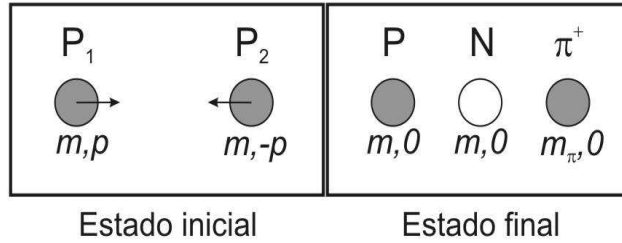
A partir de estos datos calcule el “exceso de masa” y la energía asociada a él, que es transportada por un fotón  $\gamma$ .<sup>1</sup>

**Problema 10. Creación de piones.** Supongamos que dos protones ( $P_1$  y  $P_2$ ) con impulso igual y contrario  $\pm p$  chocan, según se indica en la Figura. Como

---

<sup>1</sup>Este proceso se ha estudiado en el laboratorio, encontrándose rayos  $\gamma$  con la energía esperada. Cabe aclarar que tales reacciones, cuando tienen lugar en forma de reacciones termonucleares en el Sol, necesitan de temperaturas del orden de  $10^7 K$ , y ocurren sólo en las regiones internas. Estos rayos  $\gamma$  son absorbidos por completo antes de que lleguen a alcanzar la superficie del Sol y su energía escapa finalmente en forma de fotones con energía individual del orden de  $1\text{eV}$  (infrarroja, visible y ultravioleta) que constituyen el conocido espectro solar.

resultado de este proceso se crea una partícula (el pión), formado por un protón ( $P$ ), un neutrón ( $N$ ) y un mesón  $\pi^+$  en reposo.



Sabiendo que  $m_{\pi} = 272m_e$ ,  $m_{proton} \approx m_{neutron} \approx 1837m_e$ , encuentre la velocidad de los protones antes del impacto medida en un sistema de referencia con cantidad de movimiento nula.

**Problema 11.** Nuestra galaxia mide de extremo a extremo cerca de  $10^5$  años-luz y las partículas con mayor energía poseen una energía de unos  $10^{19}eV$ . ¿Cuánto tiempo tardará un protón que posea esta energía en atravesar la galaxia si el tiempo se mide en el sistema en reposo de (a) la galaxia?, (b) la partícula?.

**Problema 12.** Uno de los remanentes de la evolución temprana del universo es la existencia de un baño cósmico de fondo de fotones. Desde aquel tiempo los fotones simplemente se han enfriado. Se espera que esta radiación cósmica de fondo lleve a un límite en la energía (conocido como límite GZK) de las partículas cósmicas que llegan a la Tierra. Esto se debe a que las partículas que viajan una gran distancia (por ej.,  $> 20Mpc$ , donde  $1 \text{ Parsec} \approx 3,1 \times 10^{16} \approx 3,3$  años luz) en su camino a la Tierra experimentan colisiones con este fondo de fotones cósmicos y pierden en este proceso una cuota importante de su energía. Si esto se cumple—y las mediciones actuales parecen demostrarlo— es de esperarse que el espectro de rayos cósmicos observado en la Tierra tenga una caída abrupta para energías por encima de un cierto valor ( $E_{cut}$ ).

Asumiendo que las partículas de los rayos cósmicos son protones y el principal proceso de interacción en el espacio interestelar es

$$p + \gamma \rightarrow p + \pi^0, \tag{5}$$

calcule la mínima energía del protón ( $E_{cut}$ ) para la cual se puede producir dicho proceso.

Tome como valores para las energías en reposo del proton  $1GeV$ , del pión a  $100MeV$  y la energía de los fotones de la radiación cósmica de fondo igual a  $0,3 \times 10^{-3}eV$ .