

Física General IV. Trabajo Práctico 2.

Año 2010.

1 Teoría de la Relatividad.

1.1 Efecto Doppler para la luz.

Problema 1. Un fuente (s) emite luz de frecuencia ν_0 que es recibida en un detector (D). La velocidad relativa entre ambos es v .

a) Encuentre que frecuencia se observaría en (D) si uno aplicara las ecuaciones del efecto Doppler (deducidas para ondas de sonido) a las ondas lumínicas. Por qué cree que uno obtiene un comportamiento erróneo?

b) Demostrar que el efecto Doppler para ondas luminosas esta dado por:

$$\nu' = \nu_0 \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}}$$

si la fuente (s) se acerca al receptor (D), o

$$\nu' = \nu_0 \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$$

si la fuente (s) se aleja del receptor (D), con $\beta = \frac{v}{c}$.

Problema 2. En el caso de fuentes luminosas (a diferencia de las ondas de sonido), existe el efecto Doppler transversal, y está dado por:

$$\nu' = \nu_0 \sqrt{1 - \beta^2}$$

Demuestre que este efecto es en realidad otro test de la dilatación temporal.

Problema 3. En el espectro del quasar 3C9 se observan algunas de las líneas del hidrógeno. Sin embargo, éstas están tan corridas hacia el rojo que las longitudes de onda medidas son 3 veces más largas que las observadas en el espectro de átomos de hidrógeno en reposo en el laboratorio.

a) Demuestre que, según la ecuación del efecto Doppler clásico, la velocidad relativa de recesión será mayor que c .

b) Suponiendo que el movimiento relativo entre el quasar 3C9 y la tierra se debe únicamente a la velocidad de recesión, encuentre esta velocidad a partir de la ecuación de Doppler relativista.

Problema 4. Encuentre, si es que existe, el corrimiento en las longitudes de onda $\lambda - \lambda_0$ para la línea D_2 del sodio ($\lambda_0 = 589nm$) emitida por una fuente que se mueve en un circunferencia con velocidad constante ($v = 0.1c$) medida por un observador fijo en el centro de la circunferencia.

1.2 Energía y cantidad de movimiento.

Problema 5. A partir de la conservación de la cantidad de movimiento y la energía relativistas, deduzca la expresión para el corrimiento en λ en el efecto Compton.

Problema 6. Una partícula con masa en reposo m_1 y cantidad de movimiento p_1 choca inelásticamente con una partícula con masa en reposo m_2 estacionaria en el Laboratorio. Como resultado del choque se observan una partícula de masa en reposo m_3 y una cuarta partícula con masa en reposo nula.

- Hallar la energía de la cuarta partícula en el sistema CM.
- Hallar la energía de la cuarta partícula en el sistema de Laboratorio.

Problema 7.

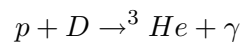
- Un electrón se mueve a velocidad $v = 1.8 \times 10^8 m/s$ con respecto a un dado observador inercial. Indicar su energía total y su energía cinética.
- Un protón es acelerado hasta que su energía cinética es igual a su energía en reposo. Hallar la relación v/c .

1.3 Masa y energía de enlace.

Problema 8. 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 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 $1.35 \times 10^3 \text{watts}/m^2$ por unidad de tiempo.

- Con estos datos calcule la pérdida de masa del Sol por segundo y compárela con la masa total del Sol.
- 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 ${}^3\text{He}$ en su estado normal. Los valores aproximados son:

$$\begin{aligned}m_{proton} &= 1.6724 \times 10^{-27} \text{kg} \\m_{deuteron} &= 3.3432 \times 10^{-27} \text{kg} \\m_{nucleo\ de\ {}^3\text{He}} &= 5.0058 \times 10^{-27} \text{kg}.\end{aligned}$$

A partir de estos datos calcule el “exceso de masa” y la energía asociada a él, que es transportada por un fotón γ .¹

Problema 10. Creación de piones. Supongamos que dos protones (P_1 y P_2) con impulso igual y contrario $\pm p$ chocan. Como resultado de este proceso se crea una partícula (el pión), formado por un protón (P), un neutrón (N) y un mesón π^+ 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. 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:

$$u = \frac{c}{n} + kV$$

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 $V \ll c$)

¹Este proceso se ha estudiado en el laboratorio, encontrándose rayos γ 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 γ 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 1eV (infrarroja, visible y ultravioleta) que constituyen el conocido espectro solar.