

Introducción a la Astrofísica Relativista

Práctica 7: absorción

1. Un fotón de energía 1 TeV incide sobre un plasma de densidad $n = 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ y espesor 10^8 cm . La interacción dominante es la creación de pares electrón-positrón en el campo electrostático de los núcleos que forman el plasma. ¿Cuál es la probabilidad de que el fotón atraviese el plasma?
2. El componente más abundante de la atmósfera terrestre es el nitrógeno molecular (N_2), cuya densidad varía con la altura h sobre la superficie según

$$\log\left(\frac{n}{\text{cm}^{-3}}\right) = \begin{cases} 11.75 - 0.0117\left(\frac{h}{\text{km}}\right), & 150 \text{ km} \leq h \leq 500 \text{ km} \\ 19.50 - 0.0633\left(\frac{h}{\text{km}}\right), & h < 150 \text{ km} \end{cases} \quad (1)$$

Calcular la opacidad de la atmósfera a la propagación de rayos γ con energías por encima de 1 GeV.

3. ¿Cuál es el camino libre medio de un fotón de 10 TeV en el fondo cósmico de radiación, cuya temperatura es 2.73 K? Discutir si es válido en este caso aproximar al fondo cósmico como un campo de fotones monoenergético.
4. La Figura 1 muestra el espectro de la luz del fondo extragaláctico (*extragalactic background light*, EBL) desde el UV hasta longitudes de onda milimétricas. La región hacia la derecha del mínimo (hacia longitudes de onda más altas) es el fondo cósmico infrarrojo (*cosmic infrared background*, CIB). La densidad de energía del CIB tiene un máximo para $\lambda \sim 150 \mu\text{m}$. Los fotones provenientes de núcleos galácticos activos (*Active Galactic Nuclei*, AGN) deben atravesar este medio para llegar al observador.
 - a) Calcular el camino libre medio para fotones con energía $E_\gamma = 10, 40, 500 \text{ TeV}$ en el fondo infrarrojo, aproximándolo como un campo monocromático de fotones de longitud de onda $150 \mu\text{m}$.
 - b) Graficar la sección eficaz total para la creación de pares por aniquilación de fotones en función del parámetro $s_0 = (E_f E_\gamma)/(m_e c^2)^2$, donde E_f y E_γ son las energías del fotón blanco y del rayo γ , respectivamente. A partir del gráfico, estimar la energía del rayo gamma para la cual la absorción es máxima.
5. Un rayo γ de 1 TeV es producido sobre la superficie de una estrella de neutrones de radio $R = 10^6 \text{ cm}$ y masa $M = 1.4 M_\odot$. ¿Con qué energía es detectado por un observador distante?

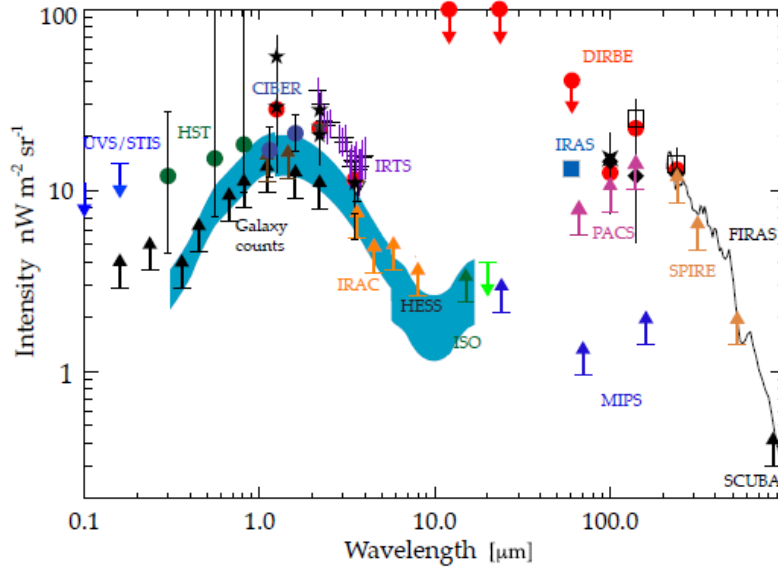


Figura 1: Espectro de la luz del fondo extragaláctico óptico e infrarrojo. Figura de Cooray A., *Extragalactic background light measurements and applications*, Royal Society Open Science, vol. 3, p. 150555 (2016).

6. Considere una estrella de temperatura efectiva $T_{\star} = 40.000 \text{ K}$ y radio $R_{\star} = 15 R_{\odot}$.

a) Fotones γ son emitidos a una distancia r del centro de la misma. Calcule, en función de r , la profundidad óptica del campo radiativo de la estrella a la propagación de un rayo γ de 100 GeV . Para ello trate al campo radiativo de la estrella como si fuera isotrópico.

b) Fotones γ son emitidos a una distancia $r = 1.5 R_{\star}$ del centro de la estrella. Determinar en qué rango de energía el campo radiativo de la estrella es transparente a la propagación de los rayos γ .

7. La región central de un núcleo galáctico activo está rodeada por nubes que forman la llamada *Broad Line Region* (BLR). Las nubes de la BLR orbitan el centro de la galaxia a velocidades de miles de km s^{-1} . El material de las nubes es calentado por la radiación de la región central y emite líneas –principalmente $\text{Ly}\alpha$ a $\sim 10 \text{ eV}$ – que se observan ensanchadas por efecto Doppler.

Si desde la región central del AGN se emiten rayos γ de energía $E_{\gamma} = 100 \text{ GeV}$, ¿podrán estos atravesar la BLR sin ser absorbidos? Discutir las implicancias del resultado. Modelar la BLR como una esfera de radio $R_{\text{BLR}} \sim 10^{17} \text{ cm}$ que radia isotrópicamente con una luminosidad $L_{\text{BLR}} \approx 10^{44} \text{ erg s}^{-1}$.