

El horizonte de los rayos gamma

O. Blanch Bigas

IFAE, Univesitat Autònoma de Barcelona, Edificio C-n, 08193 Bellaterra

I. PROFUNDIDAD ÓPTICA Y HORIZONTE DE RAYOS GAMMA

El flujo de los rayos gamma que viajan a través del universo se atenúa. La fuente más importante de esta atenuación es la absorción de los rayos gamma en el fondo difuso de radiación electromagnética debido al proceso $\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$. La producción de pares e^+e^- se produce por encima de la condición de energía límite.

$$E \cdot \epsilon (1 - \cos \vartheta) > 2(m_e c^2)^2 \quad [1]$$

donde ϑ es el ángulo de colisión, E y ϵ son la energía del rayo gamma y el fotón del fondo.

La atenuación del flujo depende de la energía (E) de los rayos gamma y de la distancia, en unidades de corrimiento al rojo, de la fuente de los rayos (z_q) y se puede parametrizar con la profundidad óptica $\tau(E, z_q)$, definida como las veces que el flujo se reduce un factor e respecto el flujo inicial. Por tanto la profundidad óptica introduce un factor atenuante $\exp[-\tau(E, z_q)]$ para los rayos gamma.

Para calcular τ es necesario conocer la sección eficaz de la producción de pares e^+e^- .

$$s(b) = 1.25 \cdot 10^{-25} (1 - b^2) \left[2b(b^2 - 2) + (3 - b^4) \text{Ln} \left(\frac{1+b}{1-b} \right) \right] \text{cm}^2 \quad [2]$$

donde $\beta^2 = (1 - 2m^2)/E\epsilon(1 - \cos\theta)$. Entonces, la probabilidad de absorción de los fotones de alta energía por unidad de longitud debido a la radiación isotrópica con densidad espectral $n(\epsilon)$ es:

$$\frac{dt}{dl} = \int_0^{\pi} \sin J dJ \int_{\frac{2m^2 c^4}{E(1-\cos J)}}^{\infty} d\epsilon n(\epsilon) s[2(1-\cos J)E\epsilon] \quad [3]$$

donde $n(\epsilon)$ es la densidad espectral, que es el número de fotones de energía ϵ por unidad de volumen y energía, en el correspondiente dl . Debido a que se consideran distancias cosmológicas el corrimiento hacia el rojo, z , se utiliza como medida de la distancia y se necesita la función geodésica de desplazamiento¹ para integrar la probabilidad de absorción de los fotones de alta energía por unidad de longitud a lo largo del recorrido de los fotones.

$$\frac{dl}{dz} = \frac{c/(1+z^2)}{H_0 [(1+z)^2 (1 - \Omega_M) - z(2+z)\Omega_\Lambda]^{1/2}} \quad [4]$$

Para hacer la integración es importante recordar que las energías tienen que ser las energías en la correspondiente z y no las observadas en la tierra ($z=0$). Esto introduce un factor $(1+z')$ por cada energía que aparece en la ecuación 3.

Entonces la profundidad óptica se puede escribir con su dependencia en z' implícita como sigue:

$$t(E, z) = \int_0^z dz' \frac{dl}{dz'} \int_0^{\pi} dx \frac{x}{2} \int_{\frac{2m^2 c^4}{E x (1+z')^2}}^{\infty} d\epsilon \cdot n(\epsilon, z') s[2x E \epsilon (1+z')^2] \quad [5]$$

El horizonte de rayos gamma son las coordenadas (E, z) que cumplen: $\tau(E, z) = 1$, es decir la energía del rayo gamma para la cual el flujo disminuye un factor $1/e$ cuando llega al punto de observación (la tierra) en función de la z donde se genera el rayo.

II. DENSIDAD ESPECTRAL DEL FONDO DE RADIACIÓN

Uno de los parámetros de entrada básicos para el cálculo de los rayos gamma es $n(\epsilon, z)$. La dificultad reside en que las medidas² siempre se hacen a $z=0$ y por tanto se necesita un modelo para deducir el valor de $n(\epsilon, z)$ para z diferente de 0. Los modelos pueden ser muy simples, considerando, por ejemplo, que todo el fondo de radiación es producido en la creación de estrellas y todas ellas se formaron en un instante (estallido estelar)¹. Siendo un poco más realista se puede asumir que la creación de las estrellas no fue puntual sino que tiene una frecuencia que depende de z (frecuencia de formación estelar)³. Y adquiriendo un mayor grado de complejidad, se puede tener en cuenta que las estrellas siguen contribuyendo a la formación del fondo de radiación después de su formación y que el fondo es modificado por su interacción con el medio interestelar (evolución estelar)³. El horizonte de rayos gamma para estas tres opciones está representado en la figura 1.

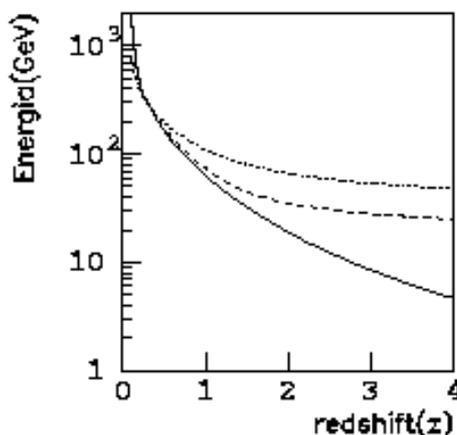


Figura 1. Horizonte de rayos gamma utilizando diferentes modelos para la evolución del fondo de radiación. Línea sólida:estallido estelar. Línea cortada: frecuencia de formación estelar. Línea a puntos: evolución estelar.

El modelo “evolución estelar” es probablemente el más próximo a la realidad. El horizonte de rayos gamma obtenido para este modelo, podrá ser observado por los telescopios Cherenkov de última generación como por ejemplo MAGIC debido a que estos tienen el límite de detección suficientemente bajo.

III. PARÁMETROS COSMOLÓGICOS

En el cálculo del horizonte de rayos gamma también intervienen los parámetros cosmológicos: H_0 , Ω_M y Ω_Λ . Se ha realizado un estudio de cual es su influencia en el valor del horizonte. Considerando el mejor ajuste a los datos experimentales⁴, se han calculado las variaciones que se producen si los valores se desplazan entre una y tres desviaciones estándar. Se observa que la variación producida en el horizonte cuando se cambia H_0 es diferente a cuando se mueve el valor de Ω . Por tanto será posible realizar medidas de ambos parámetros. Aunque estas medidas serán muy dependientes del modelo utilizado para $n(\epsilon, z)$ ya que los cambios en el horizonte son menores a los observados en la figura 1.

Referencias

- ¹ K. Mannheim, Frontiers in high-energy astroparticle physics, astro-ph/9902185
- ² Dwek et al. ,The Cobe diffuse infrared background experiment search for the cosmic infrared background: IV. Cosmological implications, astro-ph/9806129.
- ³ T.M. Kneiske et al, Cosmic star formation rate from gamma-ray attenuation, astro-ph/9912450.
- ⁴ L.M. Krauss, Space, time, and matter: cosmological parameters 2001, astro-ph/0102305.