

Introducción a la Astrofísica Relativista 2020

Práctica 5: procesos radiativos I

1. ¿Cuál es la temperatura de un cuerpo negro que emite fotones con una energía media de 1 TeV ? ¿Cuál es la densidad de fotones en este campo de radiación?
2. Observaciones radio-polarimétricas de un remanente de supernova revelan que éste emite radiación de continuo con un índice espectral $\alpha = -0.6$, con $S_\nu \propto \nu^\alpha$. A su vez, se mide que el grado de polarización de la radiación es del 10 %. Suponiendo que esta es radiación sincrotrón producida por electrones relativistas con una distribución $N_e(E) \propto E^{-p}$, resuelva:
 - a) ¿Cuál es el valor del índice espectral p ?
 - b) ¿Cuál es el grado de turbulencia del campo magnético, medido como la razón de la componente aleatoria a la componente homogénea del campo?
3. ¿Cuánto vale el tiempo de enfriamiento por radiación sincrotrón para un electrón de 1 TeV en un campo magnético de 1 mG? ¿Cuál sería el valor correspondiente para un protón con el mismo factor de Lorentz?
4. El radio de curvatura de las líneas de campo en la región polar de un pulsar es $R_c \sim (c R_*/\Omega)^{1/2}$. Para un pulsar de período $P = 0.1$ s, hallar la energía típica de los fotones que emite un positrón que fue acelerado hasta 10 TeV en la región polar. Utilizar $R_* = 10^6$ cm.
5. Un electrón relativista atraviesa un medio en el cual la densidad de fotones es la de un cuerpo negro con temperatura $kT = 1$ eV (¿qué rango del espectro es este?). El campo magnético en ese ambiente es de 1000 G. Determinar cuál será el mecanismo de enfriamiento dominante. Supongamos ahora que en forma simultánea el electrón gana energía por un mecanismo difusivo de tipo Fermi de primer orden. Si la eficiencia del mecanismo de aceleración vale $\eta = 0.01$, ¿cuál es la energía máxima que pueden alcanzar los electrones?
6. Mostrar que la energía máxima de los fotones dispersados por efecto Compton inverso en el régimen de Thomson es $E_\gamma^{\max} = 4\gamma_e^2 E_f$, donde γ_e es el factor de Lorentz del electrón y E_f la energía inicial del fotón.
7. La eyección en forma de chorro (*jet*) de un *microquasar* inyecta electrones relativistas en la región donde es frenado por el medio interestelar (el *hot spot*), con una densidad de energía de $U_e = 100$ eV cm⁻³. Los electrones se distribuyen en energía según $N(E) \propto E^{-p}$, con $p = 2$ entre $E_{\min} = 1$ GeV y $E_{\max} = 10$ TeV. El *hot spot* tiene un tamaño lineal de 0.1 pc y el campo magnético allí es $B = 10^{-5}$ G.

a) ¿Cuál es la potencia sincrotrón que se emite en la región ópticamente delgada del espectro ($\nu > 1$ MHz)? Graficar la SED.

b) Calcular y graficar la SED sincrotrón para valores de p , $E_{\min}$, $E_{\max}$ y B diferentes a los del inciso anterior. Variar estos parámetros de a uno, analizar y describir cómo se modifica la SED en cada caso.

Sugerencia: Relice un gráfico por cada una de las siguientes exploraciones:

1) $p = 1.5, 2, 2.5, 3$

2) $E_{\min} = 0.1 \text{ GeV}, 1 \text{ GeV}, 10 \text{ GeV}$

3) $E_{\max} = 1 \text{ TeV}, 10 \text{ TeV}, 100 \text{ TeV}$

4) $B = 10^{-6} \text{ G}, 3 \times 10^{-6} \text{ G}, 10^{-5} \text{ G}, 3 \times 10^{-5} \text{ G}, 10^{-4} \text{ G}.$

8. Considerar una fuente donde existen electrones relativistas con energías entre 1 MeV y 1 TeV distribuidos en energía de la forma $N(E) = KE^{-p}$ (en unidades de partículas por unidad de volumen por unidad de energía) con $p = 2$. El tamaño lineal de la fuente es de 0.1 pc y la energía total en partículas no térmicas es de $E_{\text{NT}} = 10^{40}$ erg. En la misma región existe un gas a temperatura $T = 10^4$ K que emite fotones isotrópicamente, los cuales interactúan con los electrones relativistas. Calcular numéricamente el espectro de emisión inverse Compton (IC) de esta fuente. Considerar el caso simple en que el emisor es homogéneo y estacionario, y las interacciones IC ocurren entre los electrones relativistas y un campo de radiación isotrópico y monoenergético (adoptar para la energía de los fotones la energía promedio para una distribución de tipo cuerpo negro).

Siga los siguientes pasos en la resolución del problema:

a) Dar una breve introducción teórica al proceso IC,

b) Explicar cómo se introducen las distintas simplificaciones en el cálculo del espectro radiativo y discutir su validez,

c) Graficar la SED obtenida y discutir brevemente sus características principales.