

Púlsares emisores de radiación gamma de alta energía

Baixeras, C. para la colaboración MAGIC

Dpto. Física, Universidad Autónoma de Barcelona, Edifici Cc, 08193 Belleterra

I. INTRODUCCION

Los púlsares son estrellas de neutrones con gran momento angular de rotación ($I \approx 10^{44}-10^{45} \text{ g}\cdot\text{cm}^2$) y altamente magnetizadas ($B \approx 10^9-10^{13} \text{ gauss}$), formadas durante la explosión de supernovas masivas. El estudio de púlsares binarios ha permitido estimar la masa de las estrellas de neutrones ($M \approx 1,4 M_{\text{Sol}}$, $R \approx 10^6 \text{ cm}$). La estructura interna de estas estrellas es compleja, se considera que está formada por una corteza sólida superficial que envuelve a un superfluido de neutrones. La detección con el satélite ROSAT de la emisión térmica superficial de varios púlsares ha permitido obtener su temperatura ($T < 10^{10} \text{ K}$). De entre los más de 1300 objetos que emiten señales pulsadas únicamente 7 de ellos han sido observados en el rango de rayos γ ($100 \text{ MeV} < E < 10 \text{ GeV}$) por el experimento EGRET embarcado en el satélite CGRO. La mayoría de los púlsares emiten radiación en el rango de radio, aunque también se han detectado en la banda de rayos X que son silenciosos en la banda radio. Tres púlsares (El Cangrejo, Vela y Geminga) se han detectado en casi todo el espectro electromagnético. Sin embargo, no se ha observado, hasta la fecha, ningún tipo de radiación pulsada con telescopios de luz Cherenkov ($E_{\gamma} > 300 \text{ GeV}$). Esto sugiere que los púlsares no emiten radiación gamma de energía superior a unos centenares de GeV o que el flujo de esta radiación es inferior a la sensibilidad de los telescopios de 1ª generación.

Una característica de los púlsares es el valor del periodo de rotación, P , así como el de su tasa de variación, dP/dt , debida a la disminución de la energía rotacional. En general, los púlsares más viejos tienen periodos más largos. Sin embargo se observan algunos casos de estrellas de neutrones de gran edad que todavía son activas en radio y posiblemente en rayos γ y que tienen valores de P excepcionalmente breves ($P \approx 1,5-30 \text{ ms}$, $dP/dt < 10^{-19}$, $B \approx 10^9 \text{ gauss}$ y $\tau = P/2(dP/dt) \approx 10^9$ años), por lo que se denominan púlsares de milisegundos. Estas estrellas de neutrones se encuentran en sistemas binarios, siendo posible por interacción gravitatoria que se establezca una corriente de materia de la estrella masiva hacia la estrella de neutrones.

Los periodos de los llamados púlsares normales son más largos ($P \approx 1 \text{ s}$, $dP/dt \approx 10^{-14}$, $B \approx 10^{12} \text{ G}$ y $\tau \approx 10^7$ años). En la figura 1 se presenta un gráfico de los valores de dP/dt vs. P para los púlsares en la banda radio y en rayos γ conocidos. Los púlsares emisores de rayos γ se

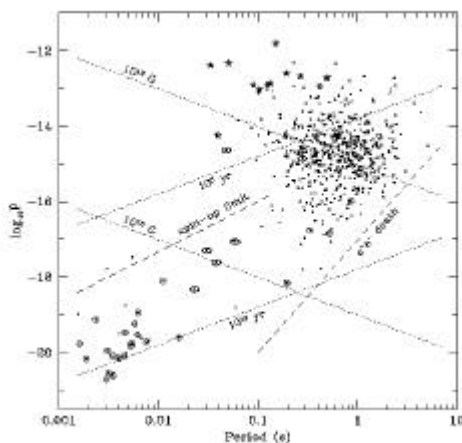


Figura 1: Púlsares en radio y en rayos γ . Catálogo pulsar ATNF (<http://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/>). Las líneas diagonales indican el campo magnético y la edad.

sitúan en la parte superior hacia la izquierda de la figura y todos ellos tienen edades inferiores a 10^6 años.

II. MODELOS DE EMISIÓN

En los modelos de emisión de radiación pulsada se considera que el campo magnético es dipolar. La radiación pulsada proviene de las regiones donde las líneas de campo magnético son abiertas y existe un campo eléctrico paralelo al campo magnético E_p suficientemente intenso como para acelerar las partículas cargadas hasta alcanzar velocidades relativistas y producir radiación electromagnética de alta energía. Se han desarrollado dos tipos de modelos que contemplan la existencia de E_p en dos regiones distintas (figura 2):

• *Polar cap (PC)*¹ donde la emisión de radiación tiene lugar en los polos magnéticos. Este modelo supone que las partículas (e^- , e^+) son aceleradas cerca de la superficie de la estrella de neutrones en el casquete polar donde el campo magnético es intenso. Los rayos γ se forman a partir de radiación de curvatura (factor de Lorentz $\sim 10^6$) o por el proceso Compton inverso (factor de Lorentz $\sim 10^2-10^6$). En ambos procesos se produce creación de pares que en parte pueden ser acelerados, pero que son también responsables de la atenuación del espectro gamma. Este modelo predice que el corte en energía E_c del espectro sea abrupto (super-exponencial). Este modelo predice que los púlsares de ms presentan un pico a energías $\sim 50-100 \text{ GeV}$.

• *Outer gap (OG)*² emite la radiación en la magnetosfera externa. En este modelo la aceleración tiene lugar en vacíos que surgen a lo largo de la superficie de carga nula en la magnetosfera externa, los rayos γ se producen a partir de las cascadas inducidas por los pares e^- , e^+ formados en interacciones fotón-fotón. En esta zona B es varios órdenes de magnitud inferior al campo en la superficie de la estrella y la atenuación del espectro de rayos γ es debida a la aceleración máxima que pueden adquirir las partículas cargadas. El corte en energía del espectro es más suave que en el caso anterior (exponencial).

III. EL TELESCOPIO MAGIC⁴

Los valores del umbral de energía ($\sim 30 \text{ GeV}$) y de la sensibilidad ($\sim 10^{-10} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ a 10 GeV y $10^{12} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ a 1 TeV) del telescopio de nueva generación MAGIC para la detección de rayos γ permitirán observar los espectros de púlsares conocidos con mayor precisión y descubrir nuevas señales pulsadas. Asimismo, se podrán ver púlsares de ms observados en la banda de rayos X, pero no detectados por EGRET por su baja sensibilidad. Asimismo se espera poder aportar evidencias experimentales sobre la validez de los modelos de emisión.

Referencias

- ¹ J.K. Daugherty and A.K. Harding ApJ **458**, 278 (1996).
- ² R.W. Romani, ApJ **470**, 469 (1996).
- ³ A.K. Harding astro-ph/0208421 (2002).
- ⁴ E. Lorentz proc. 27th Hamburg 7, 2089 (2001).

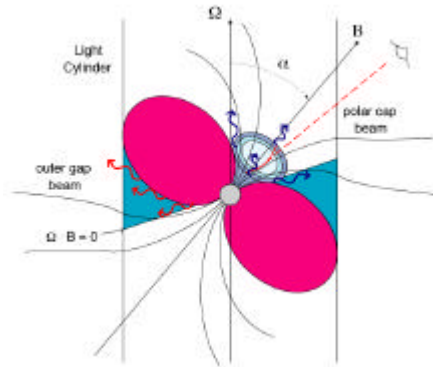


Figura 2: Mecanismos de emisión de radiación de alta energía. Modelos: Polar Cap (PC) y Outer Gap (OG).