

---

# **An X-ray jet from the Vela pulsar**

## ***AS735 Medio Interestelar***

Viviana Guzmán V.

Departamento de Astronomía  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Universidad de Chile

# Introducción: Vela

---

- Remanente de supernova en el sur de la Constelación de Vela.
- Se encuentra a una distancia de 500 pc.
- Estrella masiva explotó hace unos 11.000 años, formando una estrella de neutrones  
⇒ Pulsar de Vela.



# Pulsar de Vela

---



Pulsar de Vela, imágen tomada por Chandra.

# Pulsar de Vela

---

- El pulsar de Vela está perdiendo más energía rotacional de lo que podría explicarse por la radiación del pulsar o por la nube compacta que lo rodea.

Una teoría es un viento ecuatorial

Observaciones de un *jet* de emisión en rayos-X orientado en el eje de spin del pulsar

⇒ Flujo polar, no ecuatorial.

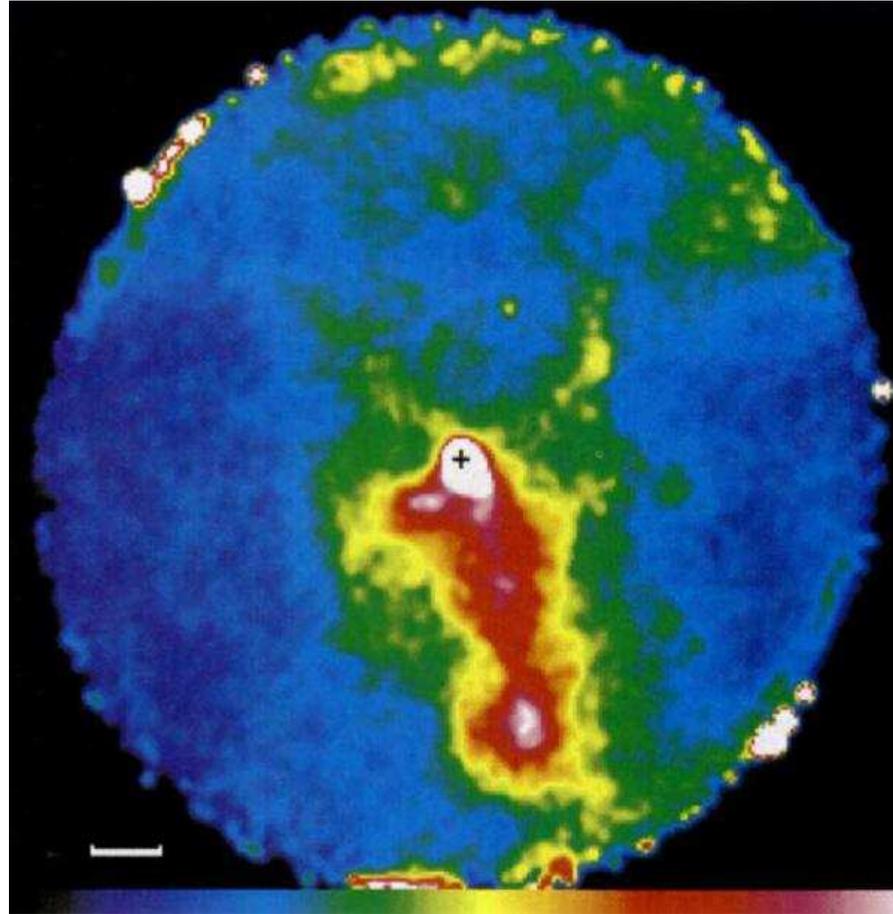
# Jet en rayos-X

---

- El pulsar de Vela fue observado con el telescopio de rayos-X Rosat (0.9-2.0 keV)
  - Se observa un increíble *jet* de emisión con origen en el pulsar que se extiende hacia el sureste.
    - Largo: 45 arcmin (6.5 pc)
    - Ancho: 12 arcmin (1.7 pc)
- ⇒ La morfología indica que realmente es un jet del pulsar de Vela.

# Jet en rayos-X

---



Imágen en rayos-X de Rosat (tamaño de  $1^\circ$ ).

# Jet en rayos-X

---

Modelo del espectro del *jet*:

- Emisión termal de plasma.
- Emisión continua con una ley de potencia para la distribución de energía.

# Jet en rayos-X

---

Modelo del espectro del *jet*:

- Emisión termal de plasma.
- Emisión continua con una ley de potencia para la distribución de energía. ✗

# Jet en rayos-X

---

Modelo del espectro del *jet*:

- Emisión termal de plasma. ✓
- Emisión continua con una ley de potencia para la distribución de energía. ✗

# Jet en rayos-X

---

Modelo del espectro del *jet*:

- Emisión termal de plasma. ✓
- Emisión continua con una ley de potencia para la distribución de energía. ✗

Distancia Angular (arcmin)	Plasma		
	Temp (keV)	Densidad ( $\text{cm}^{-3}$ )	Presión ( $10^{-8} \text{ erg cm}^{-3}$ )
2-5	6.7	1.2	2.5
5-45	1.3	0.4	0.19
Ambiente	0.12	0.11	0.004

# Jet en rayos-X

---

Modelo de jets extragalácticos y protoestelares.

⇒ *jet* de material neutro supersónico ( $v_j$ ) interactuando con el medio en un frente de choque (working surface o head)

$$v_h = \frac{6,5 \text{ pc}}{11,000 \text{ yr}} \approx 570 \text{ km s}^{-1}$$

Detrás de esta superficie, el material calentado y deflectado por el choque se juntará en un *capullo* de gas caliente.

Emisión de rayos-X observada ⇒ emisión termal del plasma en el *capullo*

# Jet en rayos-X

---

Asumiendo  $v_h$  constante, un *jet* de densidad  $\rho_j$  actuando sobre la superficie de trabajo de área  $A_j$ , ejerce una fuerza:

$$F_j = A_j \rho_j (v_j - v_h)^2$$

que debe igualar a la fuerza del material del ambiente:

$$F_a = A_h \rho_a v_h^2$$

Se obtiene una velocidad para el jet

$$\frac{v_j}{v_h} = 1 + \sqrt{\frac{A_h \rho_a}{A_j \rho_j}}$$

# Jet en rayos-X

---

Considerando que la densidad del *capullo* debe estar formada por el ambiente y las componentes agregadas por el *jet*:

$$\rho_c = \rho_a + \frac{v_j}{v_h} \frac{A_j \rho_j}{A_c}$$

Finalmente se obtiene una velocidad para el jet

$$v_j = 1,8v_h \approx 1,100 \text{ km s}^{-1}$$

Es posible que el *jet* sea eyectado relativísticamente de la magnetósfera del pulsar, pero esté frenando por el material de la remanente.

# Jet en rayos-X

---

Potencia mecánica  $\approx$  Pérdida de energía rotacional

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \dot{M}_j v_j^2 = \frac{1}{2} A_j \rho_j v_j^3 = 4 \times 10^{36} \text{ erg s}^{-1}$$

$\rho_c \sim 4\rho_a \Rightarrow$  hay un flujo de masa en el *jet*, a una tasa:

$$\dot{M}_j = A_j \rho_j v_j \approx 10^{-5} M_{\odot} \text{ yr}^{-1} \text{ Muy grande!!}$$

- No puede ser originado en la magnetósfera del pulsar ( $M_{NS} = 1,4M_{\odot}$ ).
- El pulsar no puede haber barrido tanta masa gracias a su movimiento propio.

# Jet en rayos-X

---

- ⇒ El exceso de masa debe venir del medio ambiente al ser arrastrado por el capullo.
  - Eje del *jet* perpendicular a la dirección del movimiento propio del pulsar.
  - Imágenes de Rosat revelan que el *jet* se curva hacia el sur.
- ⇒ El *jet* puede estar barriendo el material del medio.

# Jet en rayos-X

---

Mapas en radio de la región de Vela muestran una coincidencia entre:

- El final del *jet* en rayos-X
- Vela X, la fuente de radio más brillante en el remanente.  
⇒ Electrones acelerados se están enfriando (emisión sincrotrón).
- Polarización ⇒ campos magnéticos proyectados alineados a lo largo del *jet* en rayos-X.  
⇒ El capullo, y quizás el *jet* están confinados magnéticamente.

# Consecuencias del *jet*

---

## 1. Reenergiza a el remanente de supernova

- Pulsar deposita su energía rotacional

$E_{rot} \approx 10^{49} - 10^{51}$  erg (energía en explosión de SN)

- Altera la forma de el remanente (configuración bi-cónica).

## 2. *Jets* asimétricos aceleran la estrella de neutrones.

- $F_j = A_j \rho_j v_j^2 \approx 10^{28}$  dyn.

En toda la vida  $\Rightarrow v \sim 90$  km s<sup>-1</sup>

(mov propio  $\sim 110$  km s<sup>-1</sup>).

(dirección no coincide)

# ¿Un solo *jet*?

---

## Efectos relativísticos

- Asimetrías en el campo magnético.
- Anisotropías en la distribución de material alrededor del pulsar.

## Falta un mejor modelo

1. Modelo sincrotrón
2. Densidad del plasma uniforme (¿*clumps*?)

# Conclusiones

---

Los pulsares están perdiendo energía rotacional en el tiempo

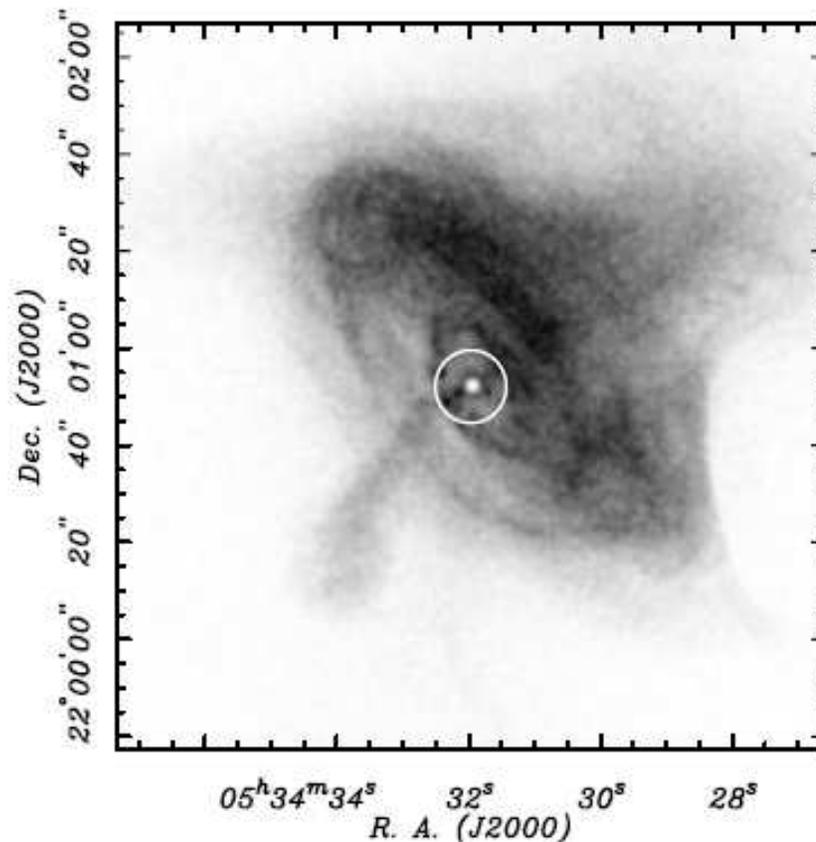
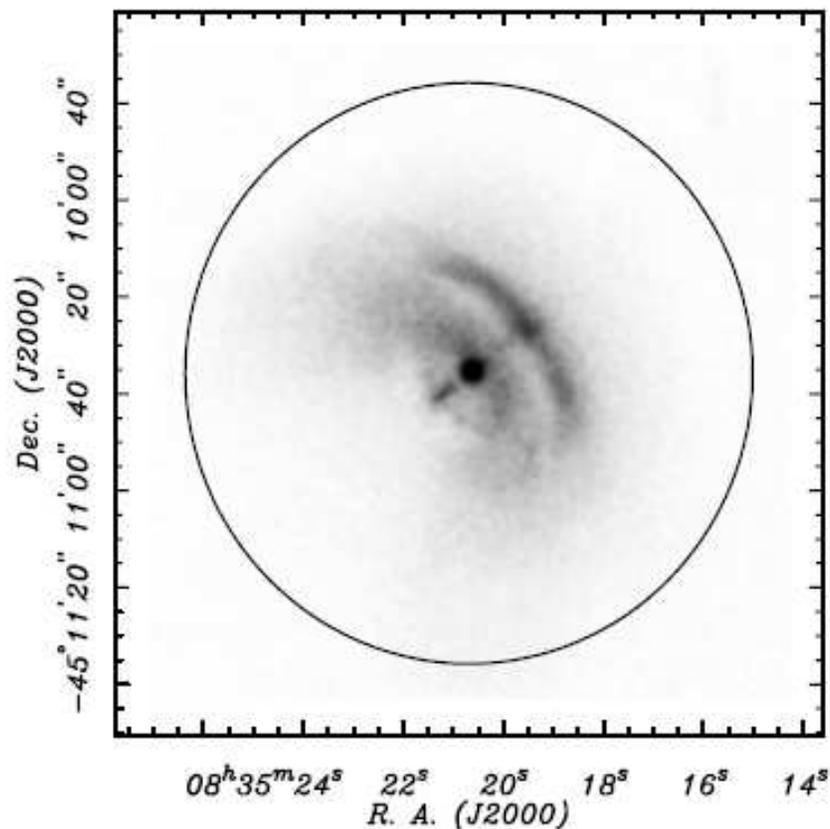
¿Cómo escapa esta energía del pulsar?

- La emisión de la Nebulosa del Cangrejo

⇒ Radiación sincrotrón de partículas aceleradas por el un flujo de choque del pulsar.

La luminosidad de la nébula es consistente con la luminosidad producto del frenado del pulsar.

# Conclusiones



Pulsar de Vela (10.000 yr,  $P = 89$  ms) y del Cangrejo (1000 yr,  $P = 33$  ms)

# Conclusiones

---

EL pulsar de Vela:

- $\tau \sim 10^4$  yr
- $d = 500$  pc
- Pérdida de energía =  $7 \times 10^{36}$  erg s<sup>-1</sup>

Luminosidad del pulsar  $\sim 10^{33}$  erg s<sup>-1</sup>

Muy poco para explicar la pérdida!!!

⇒ Flujo polar forma un *jet* que interactúa con el SNR.

Emisión termal de un capullo de gas calentado por el choque que rodea el *jet*

# Referencias

---

- Markwardt, C. B.; Ogelman, H, 1995, Nature 375, 40.
- Helfand, D. J.; Gotthelf, E. V.; Halpern, J. P., 2001, ApJ 556, 380.