

# Centelleo Interestelar.

Felipe Murgas A.

**Medio Interestelar**  
**Prof. Simon Casassus.**

10 de Abril 2008

- Si una onda de radio atraviesa un gas que contiene electrones libres, la velocidad de fase de la onda es alterada.
- Distintas concentraciones de electrones producen refracciones irregulares y consecuentemente se produce un centelleo en la señal.

# Refracción por Electrones Libres

$$m = \frac{c}{V} = \sqrt{1 - \frac{\nu_p^2}{\nu^2}} \quad (1)$$

$$\nu_p = \sqrt{\frac{n_e e^2}{\pi m_e}} = 8,97 \times 10^3 n_e^{1/2} \text{ s}^{-1} \quad (2)$$

$$\frac{1}{V_g} = \frac{d}{d\nu} \left( \frac{\nu}{V} \right) \quad (3)$$

$$\frac{1}{V_g} = \frac{c^2}{V} = c \sqrt{1 - \frac{\nu_p^2}{\nu^2}} \quad (4)$$

V: velocidad de fase, m: índice de refracción,  $\nu_p$ : frecuencia del plasma,  $V_g$ : velocidad de grupo,  $n_e$ : densidad de electrones

Si una señal viaja una distancia  $L$ , el tiempo de viaje será:

$$t = \frac{L}{c} + \frac{e^2}{2\pi m_e c} \frac{D_m}{\nu^2} \quad (5)$$

$D_m$  es la medida de dispersión y  $D_m = \int_0^L n_e ds$ . A medida que  $\nu$  decrece se observa un aumento en el tiempo (la señal se retrasa más). Midiendo este retraso  $dt/d\nu$  se puede obtener un valor para  $D_m$  (con unidades de  $cm^{-3}pc$ ).

Tenemos:

- $z$ : distancia que viaja una onda.
- $\Delta m$  variación del índice de refracción.
- $a$  distancia en que  $m$  es constante.

Cada región de tamaño  $a$  va a producir un cambio en el ángulo de fase con un valor rms de aproximadamente  $2\pi a\Delta m / \lambda$ , ahora el cambio a lo largo de  $z$  será:

$$\Delta\phi \approx \sqrt{\frac{z}{a}} \frac{2\pi a\Delta m}{\lambda} \quad (6)$$

Para calcular el ángulo de scattering rms  $\theta_s$  se adopta el modelo *thin phase screen*:

- El cambio de fase  $\Delta\phi$  es producido por una capa delgada de electrones a una distancia  $z/2$ .
- $\theta_s = \frac{\Delta\phi}{ka} = \frac{\lambda\Delta\phi}{2\pi a}$

Luego:

$$\theta_s = \sqrt{\frac{z}{a}} \Delta_m \quad (7)$$

y ocupando la ecuación (1)

$$\theta_s = \frac{1}{2\pi} \frac{e^2}{m_e} \sqrt{\frac{z}{a}} \frac{\Delta n_e}{\nu^2} \quad (8)$$

Si la fuente tiene un diametro pequeño va a existir un patron de interferencia si se cumplen dos condiciones:

- $z$  debe ser lo suficientemente grande para que dos rayos separados por una distancia  $a$  se crucen  $\rightarrow \theta_s > \frac{2a}{z}$
- La diferencia de fase rms entre varios rayos debe exceder  $1 \text{ rad}$ , si  $\Delta L$  es la dispersión en los caminos  $\rightarrow$   
$$\Delta L = \frac{1}{4} z \theta_s^2 > \frac{\lambda}{2\pi}$$

Finalmente si se quiere observar el patron de interferencia el ancho de banda del receptor debe ser lo suficientemente pequeño para que la diferencia de fase entre dos rayos cambie al menos  $1 \text{ rad}$  sobre el rango de frecuencias medido.

$$\frac{2\pi\Delta L}{\lambda} = 1 \quad (9)$$

reemplazando  $\lambda = \frac{c}{\nu}$

$$\Delta\nu_s = \frac{c}{2\pi\Delta L} = \frac{2c}{\pi z\theta_s^2} \quad (10)$$

Estudio de distribución de plasma en el LISM (Bhat et al 1998):

- Se estudió el centelleo de 20 pulsares cercanos ( $d \leq 20pc$ ).
- Se encontró anomalías en la *fuerza de scattering* que es un indicador de la rms densidad de electrones.
- Se trató de explicar las anomalías en términos de inhomogeneidades de la densidad de electrones.
- Se asumió que las fluctuaciones en densidad se distribuyen en la forma de una estructura grande y coherente.

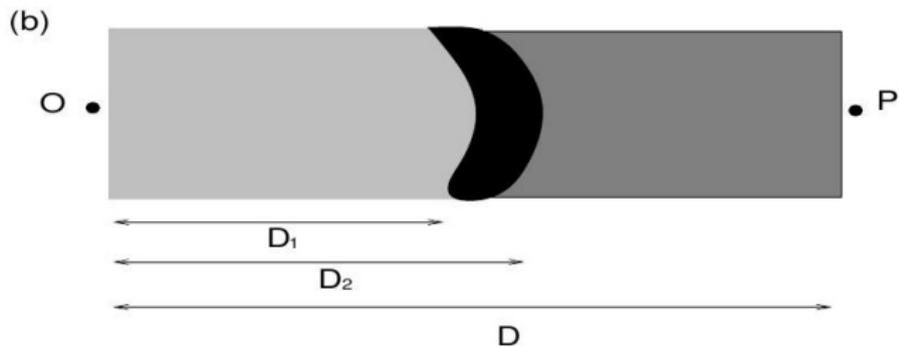


Figura: Mejor modelo de la densidad de electrones.

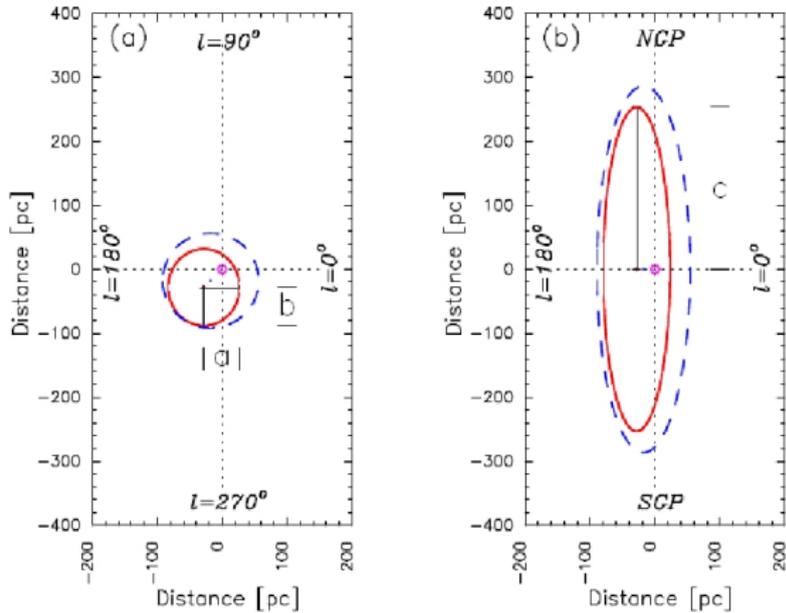


Figura: Mejor modelo de la densidad de electrones.

Otras aplicaciones que se pueden encontrar en la literatura:

- Se puede utilizar para ver estructuras del orden de AU en el ISM utilizando pulsares (conociendo la distancia a éste y su movimiento propio).
- En el estudio de cuasares.

- Physical Processes in the Interstellar Medium, Lyman Spitzer, capítulo 3 sección 3.6.
- Pulsar Scintillation and the Local Bubble *Bhat et al, 1998, ApJ 500, 262.*