

Bloco 3

Processos radiativos no MI: Refração por elétrons livres

- Referências
 - Spitzer, *Physical Processes in the ISM* – Sec. 3.6
 - Scheffler & Elsässer, *Physics of the Galaxy and Interstellar Matter* – Cap. 4 (Sec. 4.1.8)

3-1

Velocidade de grupo x vel. de fase

- A velocidade de fase está relacionada com a propagação da fase de uma onda (ponto vermelho)
- A velocidade de grupo está relacionada com a propagação do envelope da amplitude da onda. Esta relacionada com a velocidade com a qual a informação chega no observador

- Note que o ponto vermelho segue a fase da onda. O ponto verde está sempre na região de mínima amplitude da onda



http://en.wikipedia.org/wiki/Group_velocity

3-2

- Algumas definições:

↗ frequência angular (oscilação no tempo): $\omega = 2\pi \nu$

↗ número de onda (oscilações no espaço): $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

↗ ν_p , velocidade de fase $\nu_p = \frac{\omega}{k}$

↗ ν_g , velocidade de grupo $\nu_g = \frac{\partial \omega}{\partial k}$

↗ Relação de dispersão: $\omega(k)$

3-3

- Velocidade de fase determina o índice de refração que mede a relação entre a velocidade da luz e a velocidade de fase da onda eletromagnética

$$n = \frac{c}{\nu_p}$$

- A velocidade de grupo, por sua vez, relaciona-se à velocidade com que uma informação é transmitida pela onda

3-4

Refração por elétrons livres

- uma onda eletromagnética propagando-se em um meio composto por elétrons livres terá sua velocidade de fase alterada:

$$m = \frac{c}{V_p} = \left(1 - \frac{V_{pl}^2}{V^2} \right)^{1/2}$$

m: índice de refração

V_p : velocidade de fase, $V_p = \lambda v$

v_{pl} : frequência de plasma

$$\text{onde } v_{pl} = \left(\frac{n_e e^2}{\pi m_e} \right)^{1/2}$$

Se $n_e = 0$, $V_p = c$

$$V_g = c \left(1 - \frac{V_{pl}^2}{V^2} \right)^{1/2} = \frac{c^2}{V_p}$$

- A velocidade de grupo é:
- E um pulso se propaga com velocidade (de grupo) dependente da frequência.

3-5

Dispersão dos sinais de pulsares

- No caso da emissão ocorrer em pulsos, a diferença da propagação dos pulsos como função da frequência pode ser medida e fornece informações sobre a densidade eletrônica do meio
 - ↳ no caso de emissão contínua em tempo (fluxo não varia), não é possível medir o efeito acima
- Tal estudo pode ser realizado utilizando-se a emissão dos pulsares em rádio

3-7

Refração no MI

- Os seguintes efeitos podem ser medidos e usados para obter informação sobre o MI a partir dos efeitos de dispersão devidos à refração por elétrons livres nesse meio:
 - ↳ dispersão em frequência nos sinais de pulsares
 - ↳ rotação do plano de polarização = rotação de Faraday
 - ↳ cintilação

3-6

Dispersão dos sinais de pulsares

- Podemos calcular o intervalo de tempo em que um pulso de radiação atravessa um meio de elétrons de comprimento L:

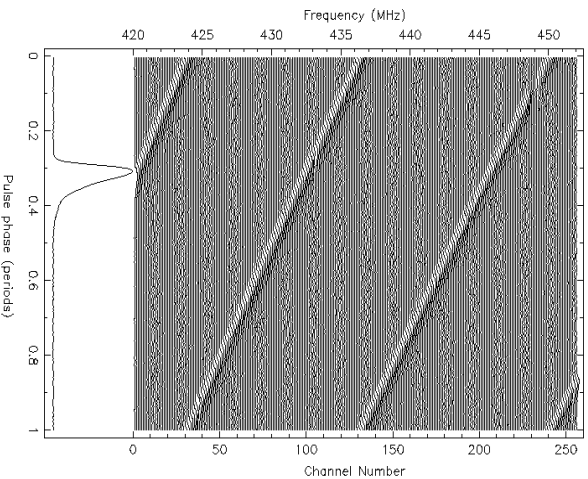
$$t = \int_0^L \frac{ds}{V_g}$$

$$t = \frac{L}{c} + \frac{e^2}{2\pi m_e c} \frac{D_m}{V^2}$$

$$\text{onde } D_m = \int_0^L n_e ds \quad \Leftarrow \text{ medida de dispersão}$$

- a variação de t com a frequência fornece D_m [cm⁻³ pc]

3-8



Jon Bell

<http://www.jb.man.ac.uk/~pulsar/Education/Tutorial/tut/node14.htm>

Table 4.7. Rotation and dispersion measures for ten pulsars and the mean values of the longitudinal component of the magnetic field obtained from them. The field strengths are given in $\mu\text{Gauss} = 10^{-6} \text{ Gauss} = 10^{-10} \text{ Tesla}$. (From Verschuur and Kellermann, 1974)

PSR	l	b	$DM [\text{cm}^{-3} \text{ pc}]$	$RM [\text{rad m}^{-2}]$	$\overline{B}_{ } [\mu\text{Gauss}]$
1642 -03	14°	$+26^\circ$	35.7	+16.5	+0.58
1818 -04	26°	$+5^\circ$	84.4	+70.5	+1.00
1829 +10	47°	-4°	3.1	-8.6	-3.3
2016 +28	68°	-4°	14.1	-34.6	-3.0
2111 +46	89°	-1°	141.4	-223.7	-1.95
0329 +54	145°	-1°	26.7	-63.7	-2.93
0825 +21	184°	-7°	50.8	-39.6	-0.96
0854 +06	220°	$+26^\circ$	12.9	+24.5	+2.3
1133 +16	242°	$+69^\circ$	4.8	+3.9	+0.99
0833 -45	264°	-3°	69.2	+33.6	+0.39

• Tab. 4.7 – SE – p. 191

Table 4.6. Dispersion measure of the interstellar medium from observations of 60 pulsars for various intervals of galactic latitude b . (After Forriach, 1974)

$ b $	$<2^\circ$	$2^\circ \dots 5^\circ$	$5^\circ \dots 10^\circ$	$10^\circ \dots 30^\circ$	$30^\circ \dots 90^\circ$
DM	142	60	59	37	13

- Tab. 4.6 – SE – p. 190
 - ◊ notar dependência com latitude Galáctica, b: maiores valores de DM para menores b
 - ◊ fato acima demonstra que origem eh interestelar (poderia ser nas adjacências do objeto)
 - ◊ $0.03 < n_e < 0.08 \text{ cm}^{-3}$

Rotação de Faraday

- se o meio ionizado possui um campo magnético paralelo à direção de transmissão

$$m^2 = \frac{c^2}{V^2} = 1 - \frac{V_p^2}{V^2} \left\{ 1 \pm \frac{eB}{2\pi m_e c v} \right\}^{-1}$$

◊ onde os dois sinais representam os dois sentidos de polarização circular incidente

◊ isto é, o índice de refração depende da polarização

- a polarização linear pode ser decomposta em duas componentes circularmente polarizadas em sentidos contrários. Assim, uma radiação plano polarizada pode ser alterada pelo campo magnético

- assim uma radiação linearmente polarizada terá o ângulo de polarização modificado, modificação esta que varia com a frequência.
- a velocidade de grupo é pouco alterada pela presença de um campo magnético.
- a radiação síncrotron é polarizada linearmente. Assim, é possível observar a rotação Faraday na emissão de pulsares-rádio.

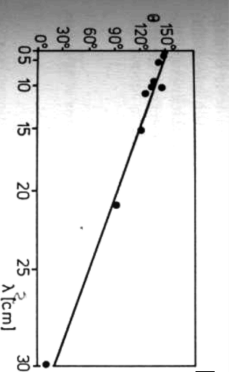


Fig. 4.25. Polarisation direction of the discrete nonthermal radio source Taurus A (Crab Nebula) as a function of the square of the wavelength λ . The position angle θ of polarisation plotted as ordinate varies as a result of the Faraday rotation proportional to λ^2 (abscissa) arising in the interstellar medium. The true polarisation direction (150°) can be found by extrapolation to $\lambda = 0$. (After Kraus, Radio Astronomy, 2nd edition, 1986)

Fig. 4.25 – SE – p. 189

3-13

- rotação do ângulo, ψ

$$\psi = R_m \lambda_m^2$$

$$\text{onde } R_m = \frac{e^3}{2\pi m_e^2 c^4} \int_0^L n_e B_{\parallel} ds$$

paralelo à linha
de visada

R_m : Medida
de rotação

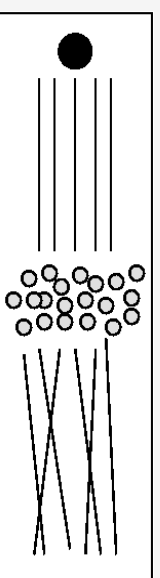
- R_m medido para muitas fontes extragalácticas
 - R_m cresce com diminuição de b
 - a razão entre R_m e D_m é proporcional a $B_{\parallel}$
- Ver Tab. 4.7 – SE – p. 191

3-14

- variação de $n_e \Rightarrow$ variação de $m \Rightarrow$ variação de θ
- assim, a fonte terá seu tamanho ampliado devido ao fato de que a radiação proveniente da fonte foi refratada várias vezes por inhomogeneidades presentes do MI

Cintilação interestelar

Fonte



Observador

3-15

Fig. 3.3 – Spitzer – p. 67

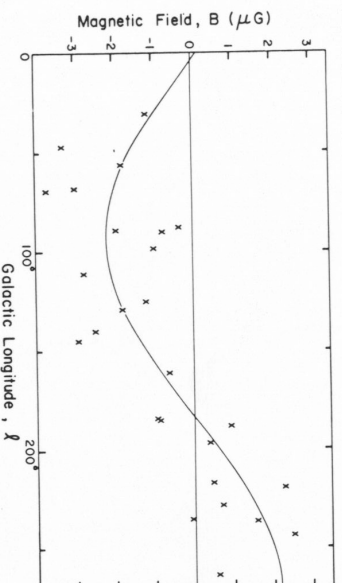


Figure 3.3 Magnetic field found from pulsar observations. For each pulsar the component of B parallel to the line of sight is determined from the measures of dispersion and Faraday rotation [66]. Pulsars more distant than 2500 pc or with galactic latitude greater than 35° or in the direction of the North Polar Spur have been omitted. The solid line represents the sinusoidal variation expected for a uniform field with parameters obtained by a least-squares solution and given in equation (3-73).

3-16

- ângulo de espalhamento quadrático médio, θ_s (tamanho da fonte)

$$\theta_s = \frac{1}{2\pi} \frac{e^2}{m_e} \left(\frac{z}{a} \right)^{1/2} \frac{\Delta n_e}{v^2}$$

z : tamanho da região onde efeito ocorre
 a : tamanho da inomogeneidade

- a variação do tamanho da fonte com v^2 é observada!

$$\Delta v_s = \frac{2c}{\pi z \theta_s^2} \Leftrightarrow \text{largura de banda onde cintilação é observada}$$

- $\Delta v_s \propto \theta_s \Rightarrow z \propto$

- notar dependências com:
 - latitude Galáctica
 - H α : relacionado à medida de emissão, assim ao HII
- 
- emissão interestelar

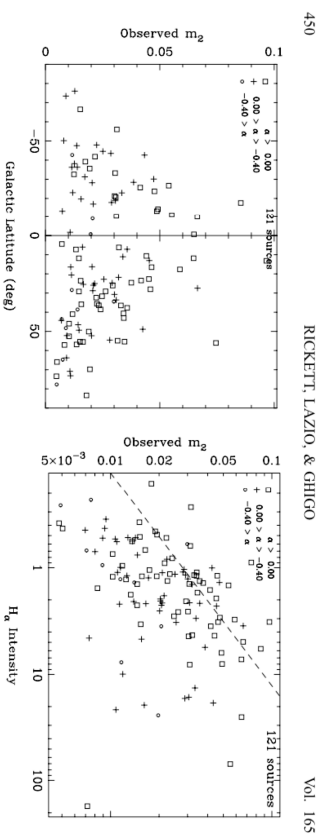


FIG. 7. Scintillation index at 3 GHz for sources with SS confidence levels 1 and 2) plotted against Galactic latitude (l/b) and H α intensity ($\nu(H\alpha)/L_{\nu}$ in mJy/deg²) as explained in the text. The points are flagged by spectral index as indicated. The dashed line corresponds to $m \propto (L_{\alpha})^{-1/2}$.

INTERSTELLAR SCINTILLATION OBSERVATIONS OF 146 EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2006ApJS...165..439R>