J-Shocks, Efectos magnéticos

Matías Lackington W.

- ***ISM***
- ***Prof. Simón Casassus***

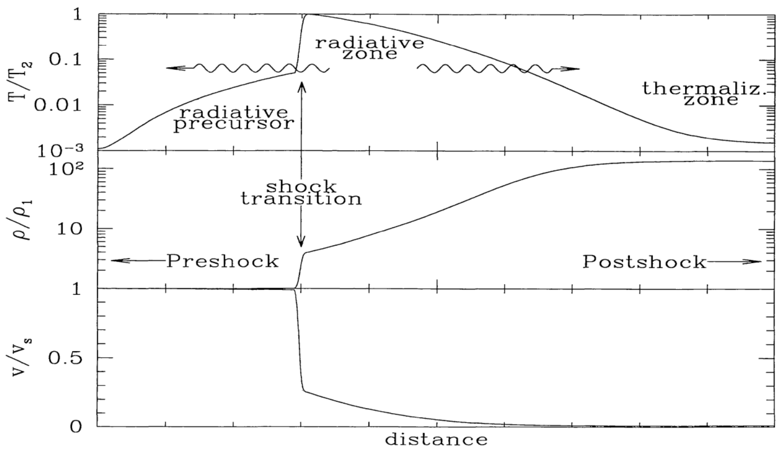
Departamento de Astronomía – Universidad de Chile

Introducción

- Las ondas de choque son comunes en el ISM
- Estos shocks ocurren cuando material se mueve mas rápido que la velocidad del sonido del medio, y el material “upstream” no puede reaccionar dinámicamente
- Ej;
  - Ondas de choque de Supernovas
  - Energía cinética ordenada de vientos estelares

J-shocks

- Choques fuertes
- Presente en todas las fases del ISM
- Mínima velocidad para J-shock es ~40 km s^{-1}



Condiciones de salto

- Sin campo magnético se obtiene:

$$
\begin{aligned}
\rho_0 v_0 &= \rho_1 v_1, \quad \text{mass}, \\
\rho_0 v_0^2 + P_0 &= \rho_1 v_1^2 + P_1, \quad \text{momentum}, \\
\frac{1}{2} v_0^2 + \frac{u_0}{\rho_0} + \frac{P_0}{\rho_0} &= \frac{1}{2} v_1^2 + \frac{u_1}{\rho_1} + \frac{P_1}{\rho_1}, \quad \text{energy}.
\end{aligned}
$$

=>

$$
\begin{aligned}
\frac{P_1}{P_0} &= \frac{2\gamma M^2}{\gamma+1} - \frac{\gamma-1}{\gamma+1}, \\
\frac{\rho_0}{\rho_1} &= \frac{\gamma-1}{\gamma+1} + \frac{2}{\gamma+1}\frac{1}{M^2}, \\
v_i^2 &= \frac{1}{\rho_i^2}(P_1 - P_0)\left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_1}\right)^{-1}
\end{aligned}
$$

Con campo magnético

$$[\rho v_\|] = 0,$$

$$[B_\|] = 0,$$

$$[v_\| \mathbf{B}_\perp - B_\| \mathbf{v}_\perp] = 0,$$

$$\left[\rho v_\|^2 + P + \frac{1}{8\pi} B_\perp^2\right] = 0,$$

$$\left[\rho v_\| \mathbf{v}_\perp - \frac{1}{4\pi} B_\| \mathbf{B}_\perp\right] = 0,$$

$$\left[v_\|\left(\frac{1}{2}\rho v^2 + P + u\right) + \frac{1}{4\pi}(B_\perp^2 v_\| - B_\| \mathbf{B}_\perp \cdot \mathbf{v}_\perp) + F_\|\right] = 0.$$

$$[f] \equiv f(x_2) - f(x_1),$$

Soluciones limite

- Campo magnético paralelo = 0. $B_\parallel = 0,$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{2(\gamma+1)}{D+[D^2+4(\gamma+1)(2-\gamma)M_A^{-2}]^{1/2}},$$

$D \equiv (\gamma-1)+(2M^{-2}+\gamma M_A^{-2}),\ M_A \equiv v_s/v_{A1}$ Alfvén Mach number

- Campo magnético perpendicular = 0. $B_\perp = 0,$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\gamma+1}{\gamma-1+2M^{-2}}.$$

  - Consistente con solución igual a sin campo magnético.

Caso general $B_{\parallel} B_{\perp} \neq 0$

- Choques con suficiente fuerza;
  - $M_A \gg 1,\ M \gg 1$
  - $$\lim_{M, M_A \to \infty} \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1}$$
  - Mismo limite que sin campo magnético
- Choques de fuerza a intermedia
  - Difíciles de estudiar
  - N o hay resultados concluyentes, falta por comprenderlos

Amortiguamiento Magnético

- Se denomina a el efecto que produce el campo magnético a la onda de choque, que no existiría si no hubiera campo
- La presencia de un campo magnético crea una presion que amortigua el shock.
- La compresion al enfriarse el gas lleva a un incremento en el campo magnético, y amortigua aun más el shock.

ρ max

- Si igualamos presion magnética y dinámica, se encuentra la máxima densidad postshock

$$\frac{B_1^2}{8\pi} = \left(\frac{\rho_{max}}{\rho_0}\right)^2 = \rho_0 \times v_0^2$$

- De forma equivalente;

$$n_{max} = 80 n_0^{3/2} \left(\frac{v_o}{100 km\ s^{-1}}\right)\left(\frac{1\mu G}{B_0}\right) cm^{-3}$$

Valores?

- Si usamos la relacion $B_0 \cong 1 n_0^{1/2} \mu G$
  - Se tiene: $$n_{max}/n_0 \cong 80 \left({v_0}/{100\ km\ s^{-1}} \right)$$
- Y su temperatura correspondiente es

$$T_{max} = \frac{n_0 \mu v_0^2}{n_{max} k} = 10^4 \left(\frac{v_0}{100\ km\ s^{-1}} \right) K$$

- Valores para gas totalmente ionizado.

Consecuencias

- El shock choca con una presion mayor a la hidrodinámica, perdiendo energía.
- El amortiguamiento magnético en fin, significa que menos energía va a disociacion molecular.
- Es decir, la presencia de un campo magnético logra que moléculas como el H2 sobrevivan a shocks de más alta velocidad que de otra forma disociarían las moléculas.