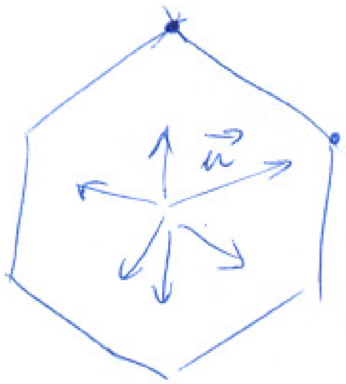
SKVRNY

skvrny ⇒ velké trubice mg. pole („flux tubes")

koncentrace – supergranulemi



rovnováha: rychlost rozpadu $\sim \frac{d^2}{\eta}$

stejná jako advekce k okrajům $\sim \frac{l}{w}$

d... velikost elementu, l... konv. buňky

$$\frac{d^2}{\eta} = \frac{l}{w} \Rightarrow d^2 = \frac{\eta l}{w} = \frac{l^2}{R_m}$$

mg. Reynoldsovo číslo

odhad pole v koncentracích: celý pozaďový tok v buňce se koncentruje do elementu:

$$\Rightarrow B_0 l^2 \sim B d^2$$

$$\Rightarrow B \sim R_m B_0$$

pro $l \sim 30$ Mm, $R_m \sim 10^4$, $B_0 \sim 0{,}1$ G

$$\Rightarrow d = 300 \text{ km}, \quad B \approx 10^3 \text{ G}$$

$$\tau = \cancel{\frac{d^2}{\eta}} \frac{l}{w} \approx 10^5 \text{ s} \sim 1 \text{ den}$$

nicméně koncentrace se zastaví, jakmile se vyrovnají tlaky: $\frac{B^2}{2\mu} \sim \frac{\rho w^2}{2} \Rightarrow B \sim \sqrt{\mu\rho}\, w$

pro fotosféru: $\rho = 3 \times 10^{-4}$ kg/cm^3

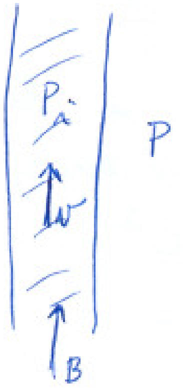
$w \sim 300$ m/s

$$\Rightarrow B \sim 60 \text{ G}$$

⇒ nestačí to ⇒ koncentrace nestabilitou

Konvektivní kolaps

vertikální trubice mg. pole: adiabatické vychýlení dolů
→ materiál v trubce chladnější → posiluje se pohyb dolů
→ vede až na 1500 G a více



rovnováha: $P = P_i + \frac{B^2}{2\mu}$

pohybová rovnice: $\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial P_i}{\partial x} = 0$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{1}{2}v^2 + \frac{P}{\rho} - \frac{B^2}{2\mu\rho}\right) = 0$$

charakteristické chování → integrujeme kus trubky

$$\int_{x_1}^{x_2} \dots dx = \langle \dots \rangle$$

⇒ stacionární tok: $\frac{\partial \langle v \rangle}{\partial t} = 0$

$$\Rightarrow \left\langle P + \frac{1}{2}\rho v^2 - \frac{B^2}{2\mu} \right\rangle = \langle P_i \rangle = \text{konst}$$

tedy $\left\langle \frac{B^2}{2\mu} \right\rangle = \langle P \rangle + \frac{1}{2}\langle \rho v^2 \rangle - \langle P_i \rangle$

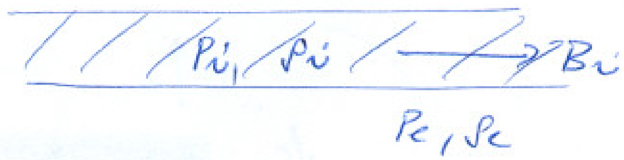
mg. pole vzroste vnějším tlakem a tokem podél trubice

detailnější (např. Stix) → kolaps ~~možný~~ stabilní pouze pro ~~počáteční~~ pole > 0,1 T

Magnetická vzplývavost

→ horizontální trubice v KZ bez pohybů

$$P_e = P_i + \frac{B^2}{2\mu}$$



$$P = \frac{\mathcal{R} T \rho}{\mu} \qquad \mu = 1$$

$$\mathcal{R}T(\rho_e - \rho_i) = \frac{B_i^2}{2\mu}$$

⇒ $\rho_i < \rho_e$ → vzplývání $(\rho_e - \rho_i)g$

pokud bude tohle větší než tenze trubice → pak vzplývá

Lorentz: $$f_L = \frac{(\nabla \times B)\times B}{\mu} = \underbrace{\frac{(B\cdot\nabla)B}{\mu}}_{\text{tenze siločar}} - \underbrace{\nabla \frac{B^2}{2\mu}}_{\text{práce tlaku}}$$

$$\frac{(B\cdot\nabla)B}{\mu} \sim \frac{B_i^2}{\mu l}$$ … l … char. velikost perturbace smyčky

nestabilita: $$(\rho_e - \rho_i)\, g > \frac{B_i^2}{\mu l}$$

↳ $\underline{l > \frac{2\mathcal{R}T}{g} = 2H_p}$

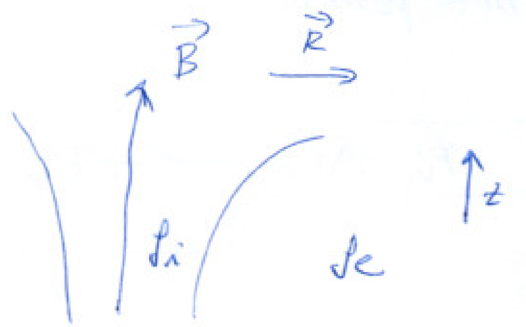
pokud perturbace dost velká → nestabilní

čas vynořování: $\tau \sim \frac{d}{v_A}$ … d … hloubka

pro 10 kG trubici hluboko v KZ ($\rho = 200\ \mathrm{kg/m^3}$, $d = 200\ \mathrm{Mm}$)
$\tau \sim 2$ měsíce.

Pokud $\tau > \tau_{rot}$ … ovlivněno Coriolisovou silou → deflekce k vyšším šířkám

MHS model skvrny



$$B = B(R)$$
$$\max(B) = B_i = B(R=0) \qquad B(R\to\infty) \to 0$$
$$\rho_i = \rho_i(z)$$
$$\rho_e = \rho_e(z)$$

rovnováha:
v hlubinách

$$p(R,z) + B^2/2\mu = p_e(z)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho(z)\, g$$

pro $R \to \infty$: $\displaystyle \frac{dp_e}{dz} = -\rho_e(z)\, g$

pro $R = 0$: $\displaystyle p_i(z) + \frac{B_i^2}{2\mu} = p_e(z)$

$$\frac{dp_i}{dz} = -\rho_i(z)\, g$$

diferencujeme $\quad \displaystyle \frac{dp_i}{dz} = \frac{dp_e}{dz}$

$$\Rightarrow \rho_i(z) = \rho_e(z)$$

$\Rightarrow p_i < p_e \qquad \displaystyle p = \frac{R\rho T}{\mu} \to 1$

$$\Rightarrow \quad p_i + \frac{B_i^2}{2\mu} = p_e$$

$$\frac{p_i}{p_e} + \frac{B_i^2}{2\mu p_e} = 1$$

$$\frac{T_i(z)}{T_e(z)} = 1 - \frac{B_i^2}{2\mu p_e(z)} \qquad \text{poměr teplot}$$

---

obvykle v umbře $\qquad \displaystyle \frac{B_i^2}{2\mu} \gtrsim p_e(z)$

p_e klesá se z: $\qquad \displaystyle \frac{2B_i}{2\mu}\frac{dB_i}{dz} \gtrsim \frac{dp_e}{dz}$

-10/4z

$\Rightarrow$ pro $\frac{dp_e}{dz} < 0 \Rightarrow \frac{dB_i}{dz} < 0$

$\Rightarrow$ trubice diverguje, s výškou roste rozměr

protože $p_i + \frac{B_i^2}{2\mu} = p_e$

$$\frac{dp_i}{dz} = \frac{dp_e}{dz} - \underbrace{\frac{2B_i}{2\mu}\frac{dB_i}{dz}}_{\text{kladné}}$$

$$\Rightarrow \frac{dp_i}{dz} > \frac{dp_e}{dz} \qquad \frac{dp_i}{dz} < 0\,;\ \frac{dp_e}{dz} < 0$$

to vede na menší hustotu v trubici ve větších výškách $\rightarrow$ částečně odpovědné za Wilsonovu depresi