

ブラックホール磁気圏の回転駆動 による電流と電荷の分布構造

小畠康史 (広島大学)

2015年BH磁気圏勉強会 3月2日 広島大学

天文学会春季年会とほぼ同じです。
進行中につき多くは省略します。

議論のために必要なら歓迎しますので

お知らせください



HIROSHIMA UNIVERSITY



本日の内容

Blandford-Znajek 過程のreview

狭義のBZ : BHから電磁気的エネルギー抽出

広義: 回転 + 磁場 → 外向き (物質?)

より現実的であるが、ここでは触れない

Non-ideal MHD の必要性

電流、電荷分布をどのように定める?

>> 二流体モデル

→ 計算は大変 / 軸対称 定常 許される範囲

(途中経過)

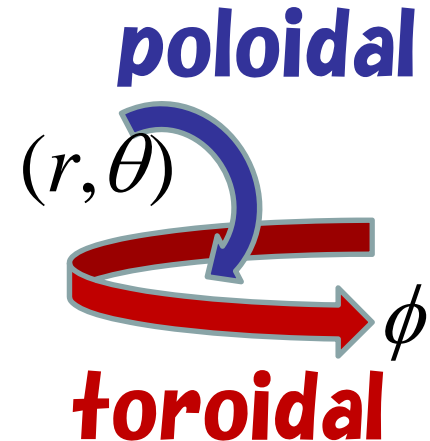
Mathematics

EM fields in 3+1 formalism

Axi-symmetric and stationary fields

$$\vec{B} = \frac{1}{\varpi} (\vec{\nabla} G \times \vec{e}_\phi) + \frac{1}{\alpha\varpi} S \vec{e}_\phi$$

$$\vec{E} = -\frac{1}{\alpha} (\vec{\nabla} \Phi - \omega \vec{\nabla} G)$$



G Magnetic function : poloidal mag.

S Current function : poloidal current flow

Φ Electric potential : poloidal electric field

cont.

- Energy conservation law

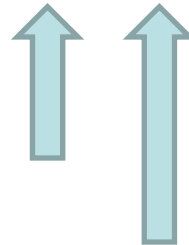
$$(\sqrt{-g} T_t^\mu)_{,\mu} / \sqrt{-g} = 0$$

-> EM Energy flux in +r direction $\approx (\vec{E} \times \vec{B})_r / 4\pi$

$$P_r = -\frac{1}{2} \int d\theta (S \Phi_{,\theta}) = -\frac{1}{2} (\Omega - \omega) \Omega \int d\theta G_{,\theta}^2 \varpi / \rho$$

- Ideal MHD condition

$$\vec{E} \cdot \vec{B} = 0 \Rightarrow \vec{\nabla} \Phi = \Omega \vec{\nabla} G$$



- Znajek condition (ingoing wave cond)

$$B_{\hat{\phi}} = -E_{\hat{\theta}} \Rightarrow S = (\Phi_{,\theta} - \omega G_{,\theta}) \varpi / \rho$$

Outgoing power for $0 < \Omega < \omega_H$

Order of Magnitude

BZ Power

Kerr BH

Mass M , Spin a ,
+ Magnetic field B

Big Problem

Zero or finite?

? $0 < \Omega < \omega_H$

$$P \approx B^2 (a/M)^2 M^2$$

$$\approx 10^{45} \text{ erg/s} (M_9)^2 (B_4)^2$$

Comparison

$$P_{BZ} \approx B^2 (a/M)^2 r_H^2 c$$

$$P_{\text{sync}} \approx B^2 (\beta\gamma)^2 \sigma_T c$$

MHD条件 $\vec{\nabla}\Phi = \Omega\vec{\nabla}G$ 下で

現状の取り組み

どのような状況下で 条件
がみたされるか？

$$0 < \Omega < \omega_H$$

- (定常問題) GS 方程式の臨界面の条件
面倒
- (非定常) 初期条件？ 境界？
定常解になっている？

？どのようなパラメータ領域の計算？

狭義のBZでは 物質は内向き EMは外向き

問題点を指摘する否定的モデル

遠方で動径的磁場 $\Phi = S = 0$

Ideal MHD

$$\vec{E} \cdot \vec{B} = 0 \Rightarrow \Phi(G), \vec{\nabla} \Phi = \Omega \vec{\nabla} G$$

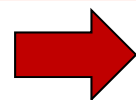
→ 至る処で $\Phi = S = 0$

球対称時空 OK

Kerrでは？

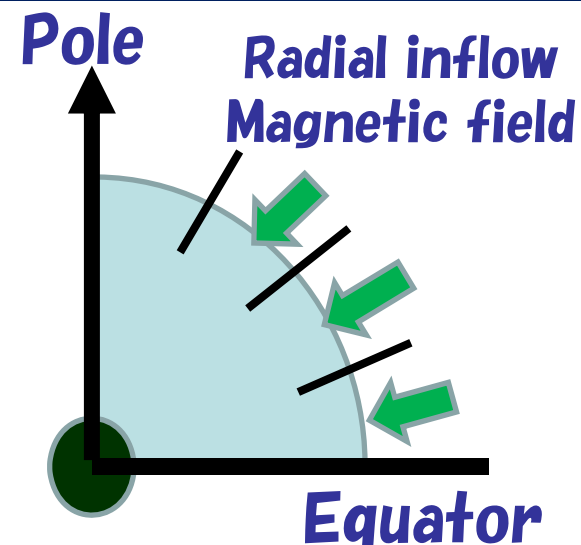
エルゴ内で条件 $B^2 > E^2$ が満たさない

参考 FF



ideal MHD and/or FF の破綻

$$(\vec{j} \times \vec{B})_\phi = 0 \Rightarrow S(G)$$



又は 適切な関数(境界条件)の選択が必要

途中

以降具体的内容は後日