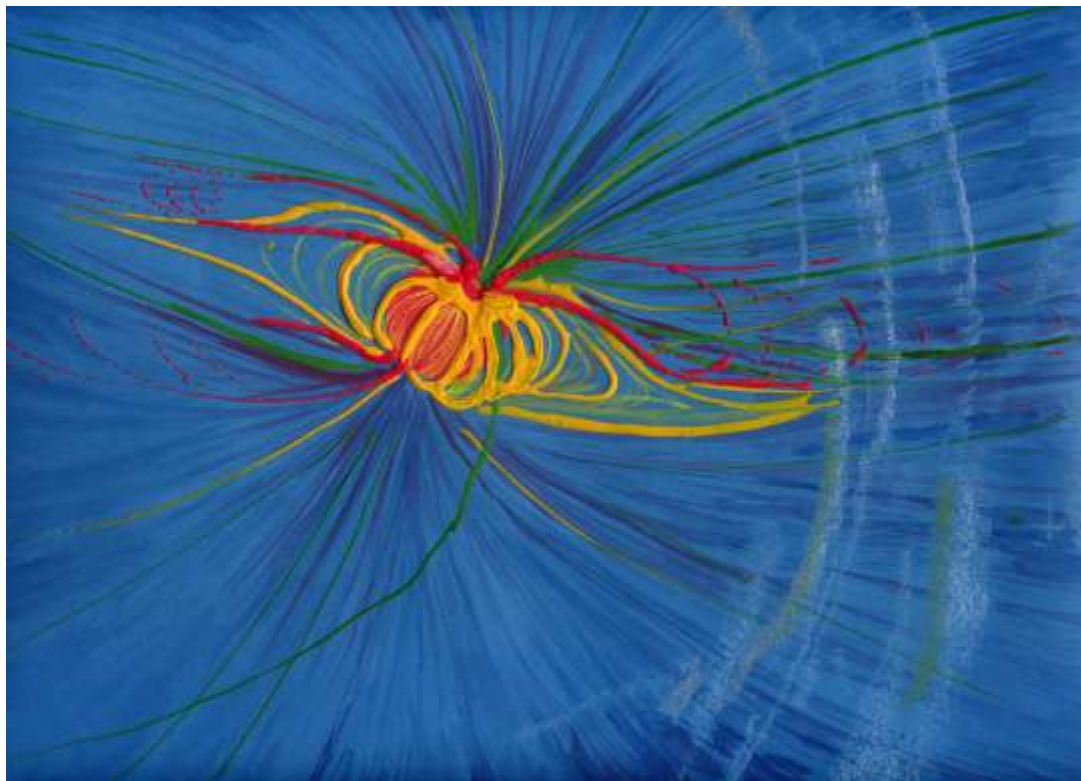


相対論的遠心力風の加速効率と構造



柴田晋平
(山形大学・理学部)

2024春年会
遠心力加速メカニズムの解明

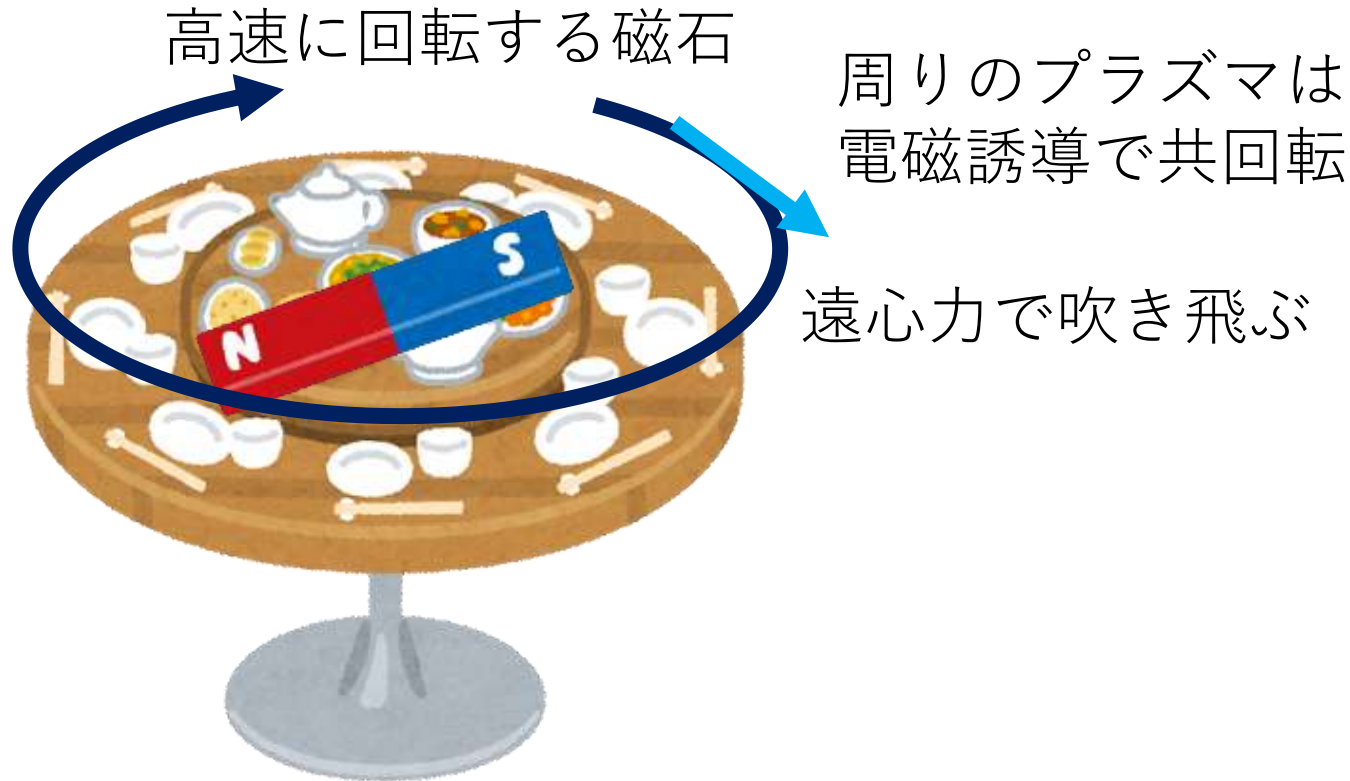
今回の報告

1. 共回転プラズマが光速に近づく過程を示す解を得た。
2. 遠心力加速の効率を推定できた。
3. 今後の見通し。

Introduction

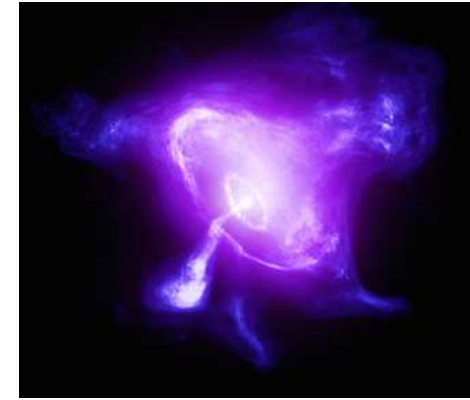
遠心力加速というアイデア

～とても期待されたアイデア～



ピュアーな実例となる
回転駆動型パルサーのモデル

候補となる現象



回転駆動型パルサー



中性子星合体

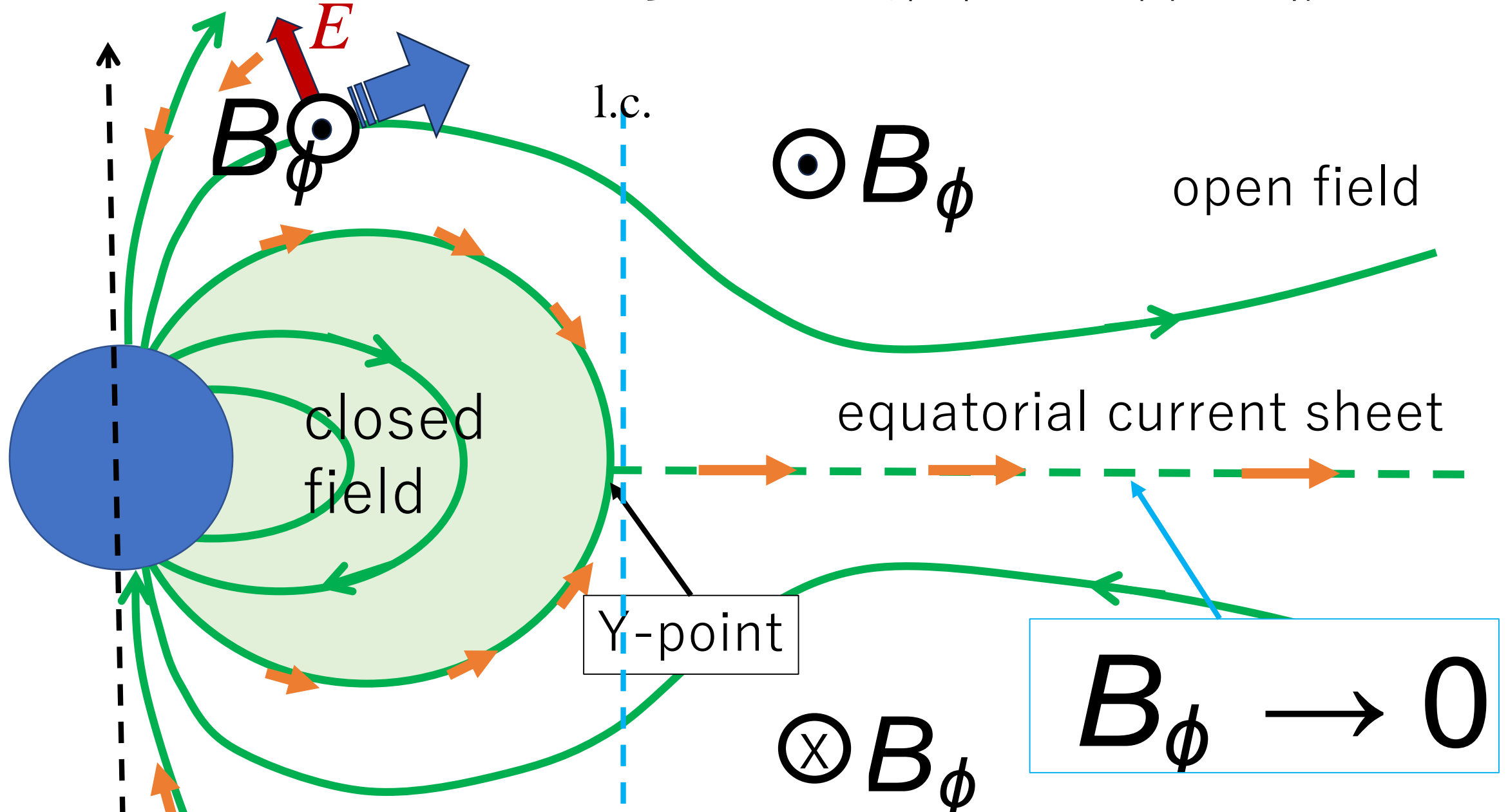


AGN
Kerr BH or 降着円盤

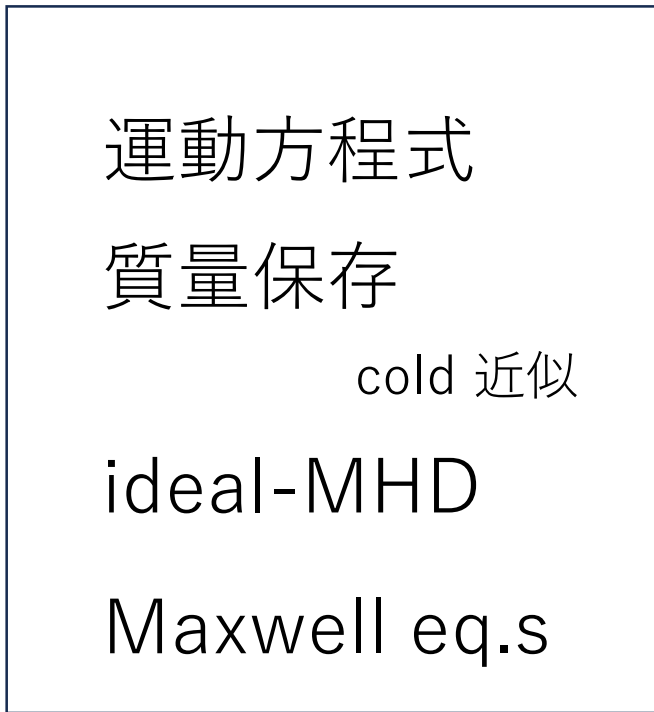
Model

- 相対論的な電磁流体力学で記述
- 中心にダイポール磁場：軸対象
- 定常問題

遠心力風を持つ磁気圏の大体の構造



相対論的遠心力風のMHD方程式の構造 軸対称定常の場合



field-aligned equations (代数方程式)

磁力線に沿った保存則と iso-rotation law

poloidal 磁場形状因子仮定: $B_p \varpi^2$

BC: 磁場の根本の plasma injection 密度、速度

$$I = \varpi B_\varphi \text{ も決まる。}$$

→ trans-fast solution が唯一決まる

trans-field equation (GS方程式)

$I = \varpi B_\varphi$ を与えて

ψ poloidal 磁場を決める方程式

stream function に関する2階の偏微分方程式 Alfvén surface でなめらかになるように $I = \varpi B_\varphi$ が決められる。

Note:

poloidal current function

$$I = \varpi B_\varphi$$

$I = \text{一定}$ の線が poloidal current の流線になる

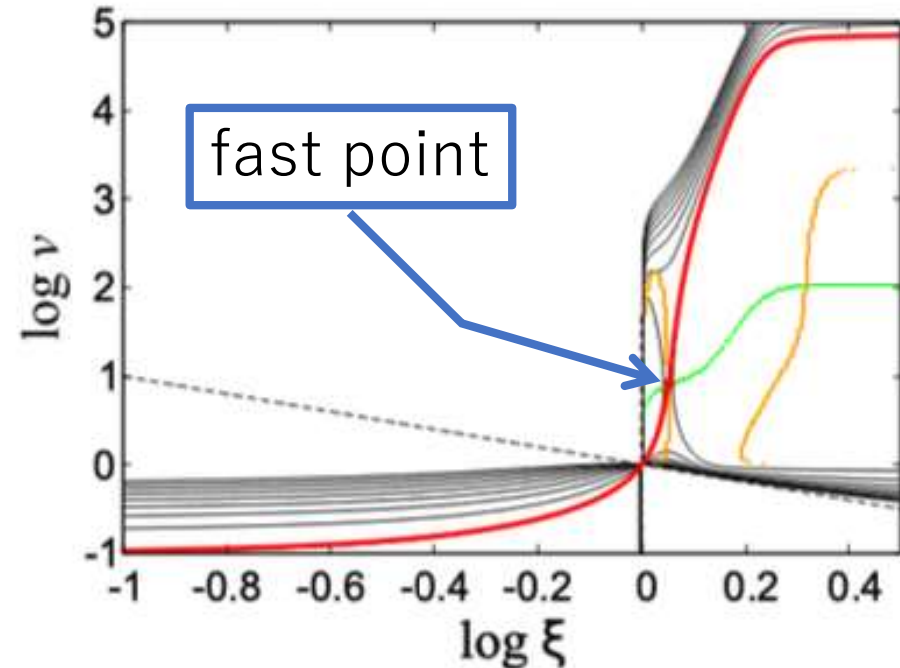
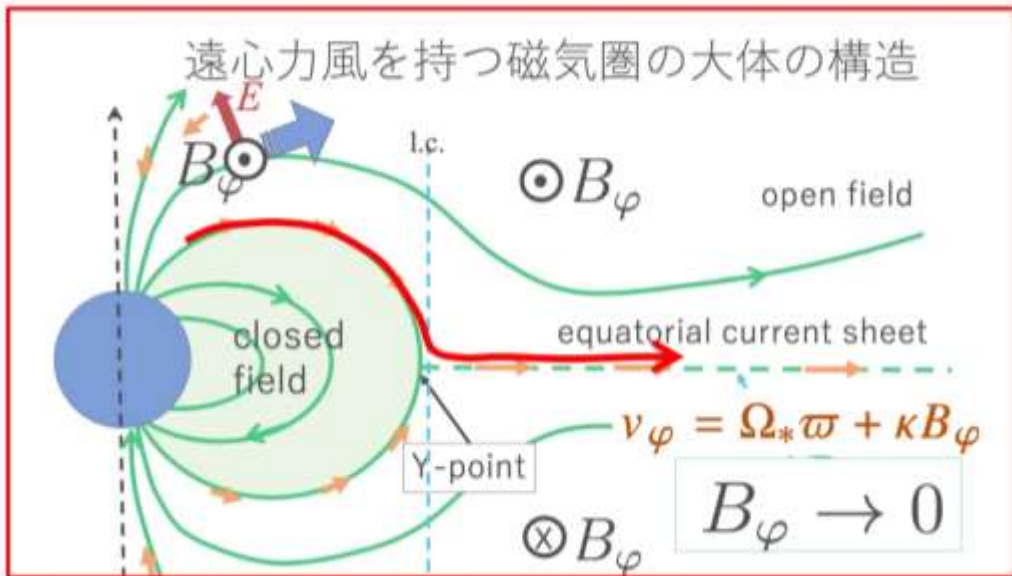
Previous Results & Difficulty

field-aligned equation の答

- 磁力線に沿った流れを解くと → 遠心力加速は起こらない
 (Poynting energy dominant wind になる) $v_\varphi = \Omega_* \varpi + \kappa B_\varphi$

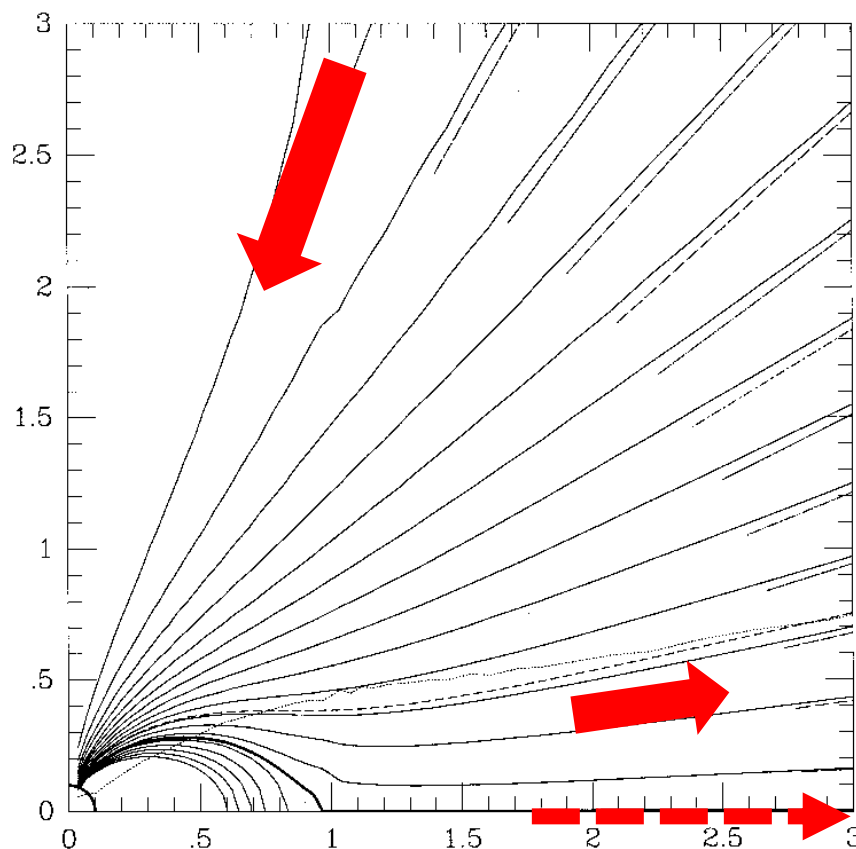
(e.g. Michel 1969; Goldreich and Julian 1970; Li and Melrose 1994; Begelman and Li 1994; Takahashi and Shibata 1998, ...)

- ただし $B_p \varpi^2$ が減少する時加速する。しかし、この時の慣性ドリフト電流では磁場は開けない



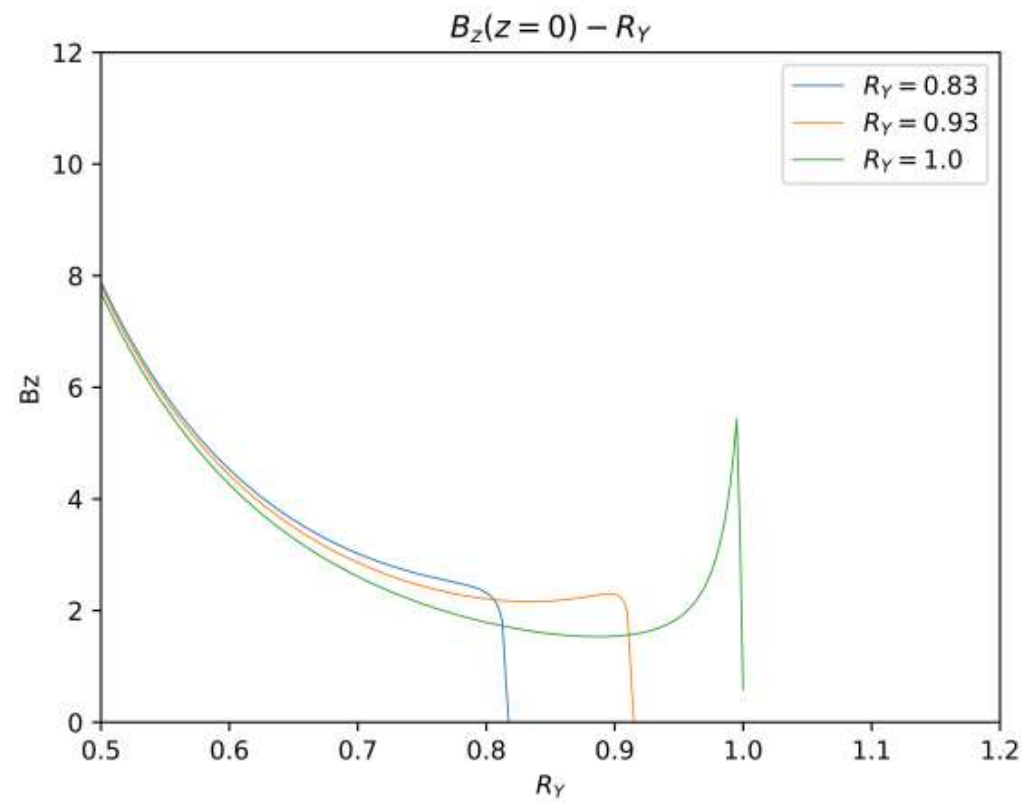
Trans-field equation; force-free sol. が知られている。

解の外で、電流を閉じさせる必要がある。



Contopoulos, I., Kazanas, D., & Fendt, C. \ 1999, \apj, 511, 351

閉じた磁場、separatrix 近傍で磁場の発散が起こる



Contopoulos et al.(2024)

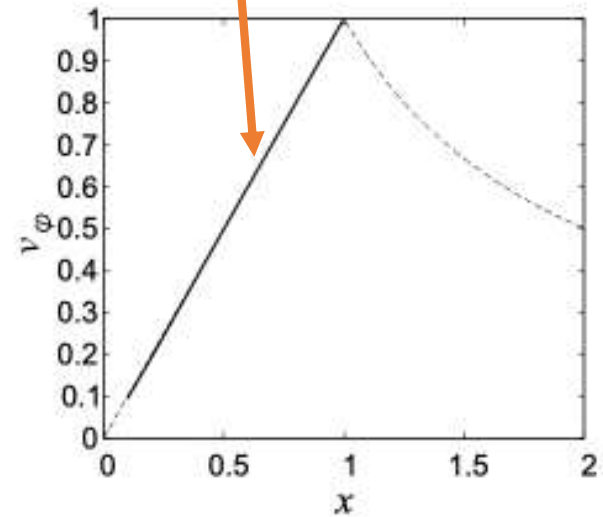
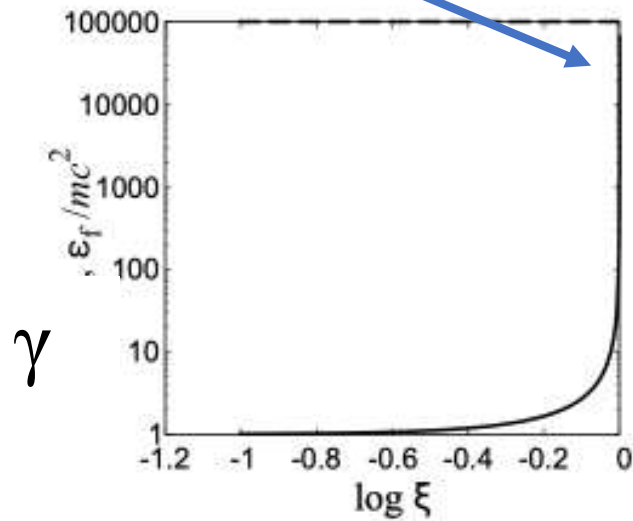
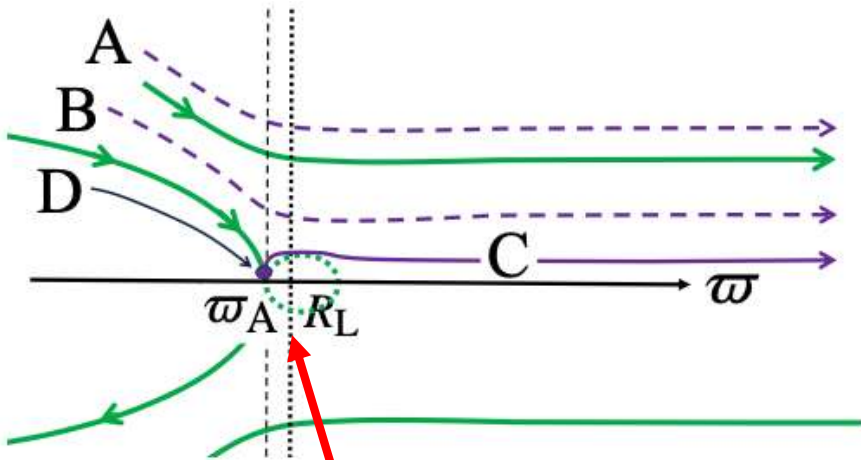
解決！

結果 1

closed loop top で起こっていること

ローレンツ因子の発散

$$v_\varphi = \Omega \varpi \rightarrow c$$



慣性が増大して
磁場をちぎって
流出

Figure 12. The Lorentz factor (solid line) and the energy of the flow (dashed line) as functions of $\log \xi$, and the azimuthal velocity as a function of x for Flow D.


結果 2

Fast critical ポイントが Alfvén critical point に縮退したため、current sheet の厚さや到達するローレンツ因子がもたらまらなくなった。

reconnection process による。

厚みを gyro radius \sim 慣性長で評価すれば見積もれる。

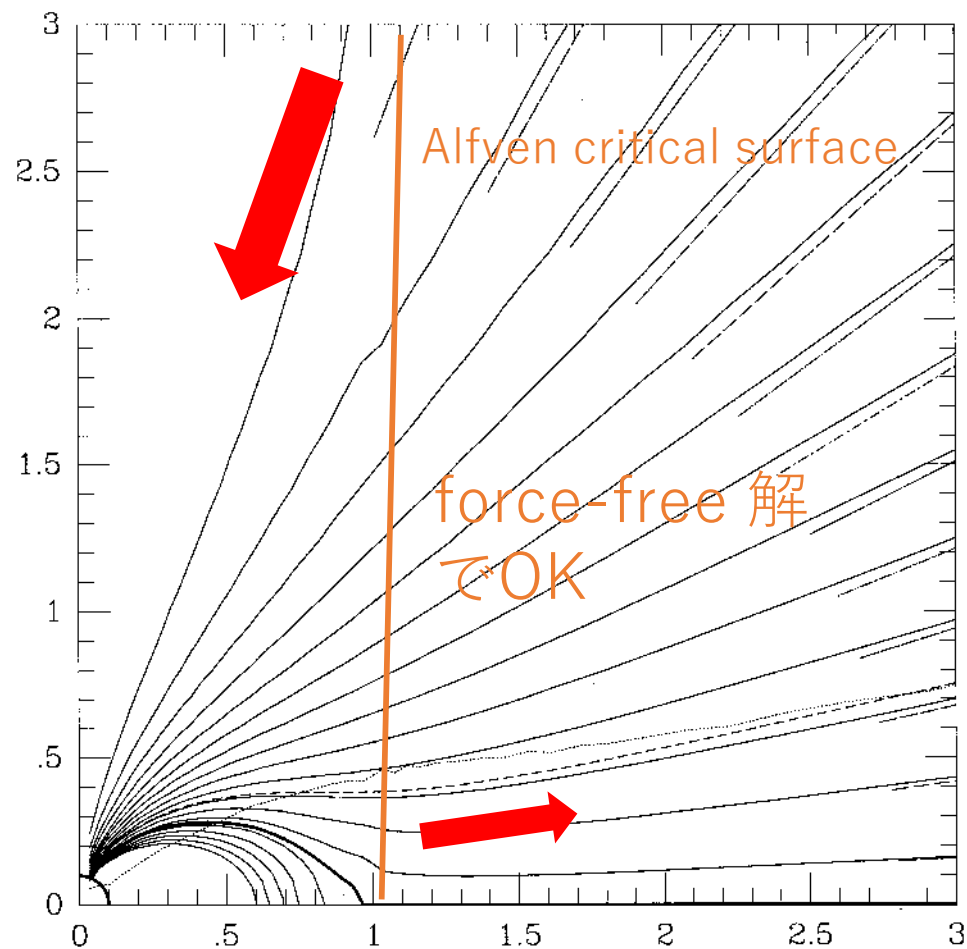
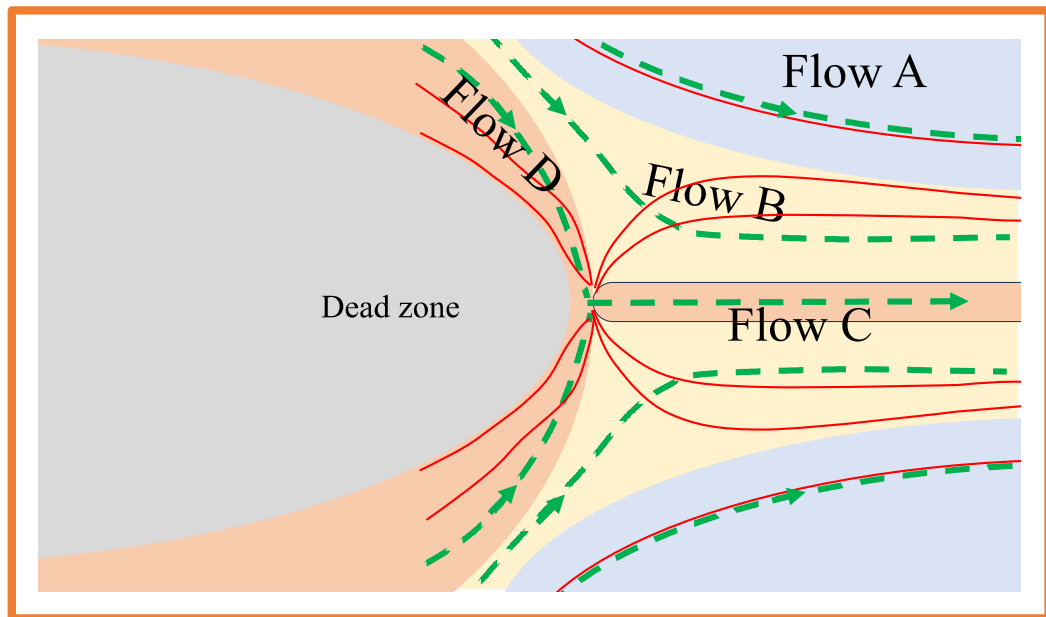
$$\gamma \approx \frac{\gamma_{\max}}{(2\mathcal{M})^{1/2}}, \quad \text{and} \quad \frac{\Delta}{R_L} \approx \frac{1}{(2\mathcal{M})^{1/2}}.$$

 multiplicity = プラズマ密度/Goldreich-Julian 密度

光度 $L \sim \mu^2 \Omega^4 / c^3$ の $1/M$ 程度 が kinetic energy flux

将来展望

field-aligned equation と
transf-field equation を連立し
て解いて軸対象遠心力風の定
常解を決定する見通しがたっ
た。 ← 解のguessが出た！



Thank you!

