

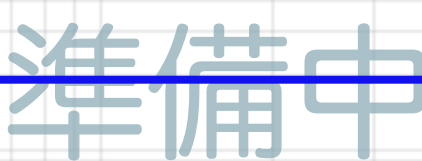
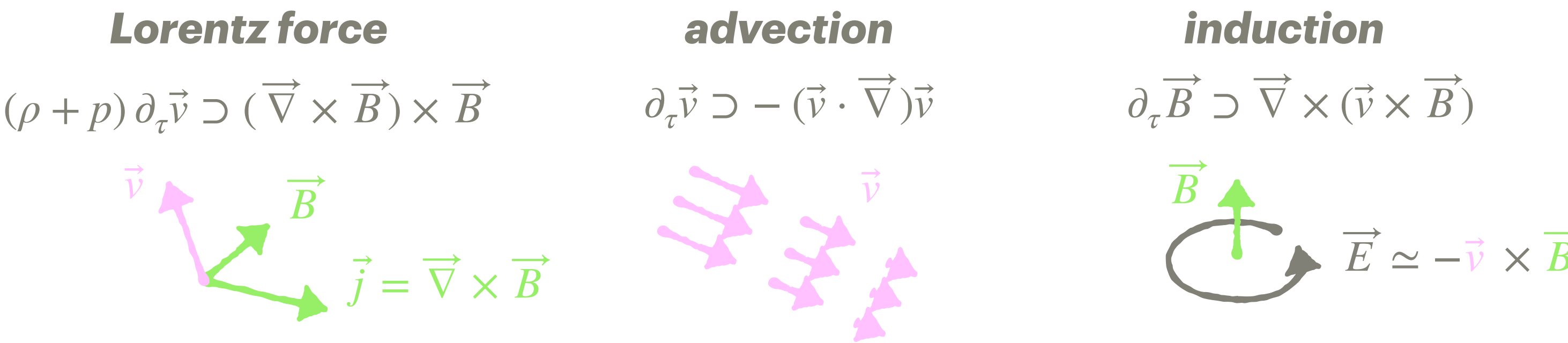
[FU, Wu, Kamada ongoing]

ibs Institute for
Basic Science

[Durrer, Neronov 2013] [Batista, Saveliev 2021] ...

[Banerjee, Jedamzik 2004] [Hosking, Schekochihin 2021] ...

$U(1)_{L_\mu-L_\tau}$ 磁場 + $U(1)_{\text{em}}$ 磁場 + 流体



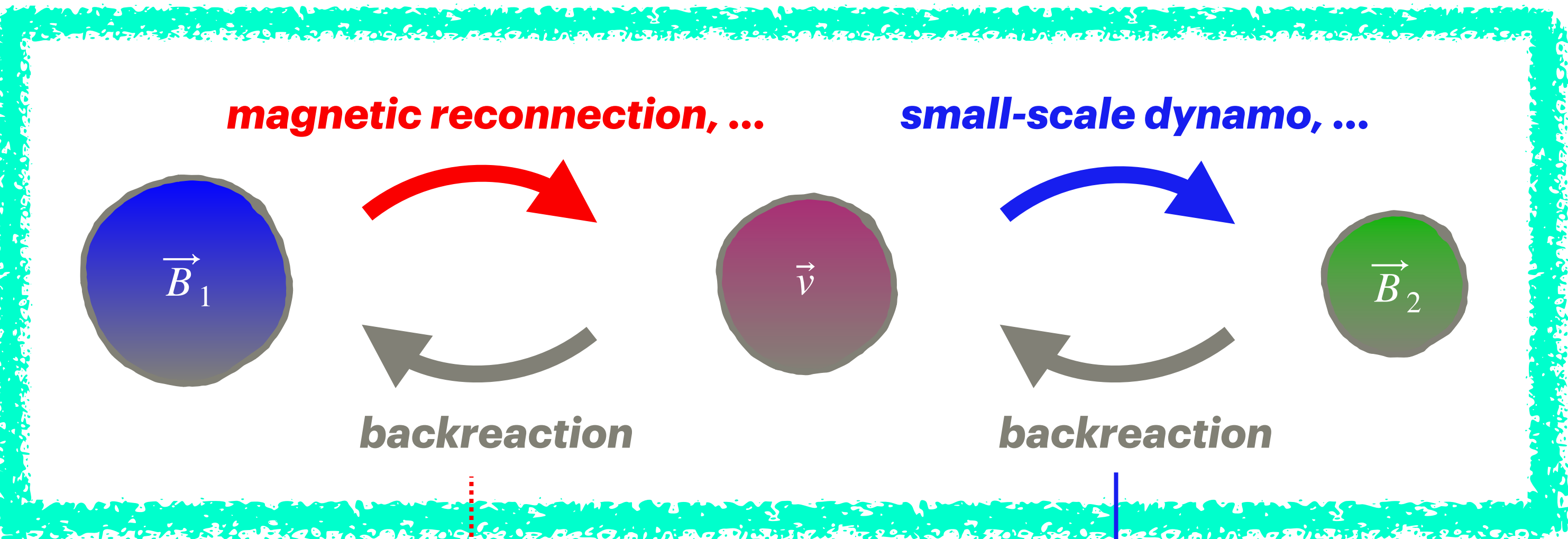
単一の速度場とそれぞれ結合した二種類の磁場を考えることにする。なお、resistivity は非対角成分を持たないとする。

Lorentz force $(\rho + p) \partial_t \vec{v} \supset (\vec{\nabla} \times \vec{B}_1) \times \vec{B}_1 + (\vec{\nabla} \times \vec{B}_2) \times \vec{B}_2,$

induction

$$\begin{aligned}\partial_\tau \vec{B}_1 &= \vec{\nabla} \times (\vec{v} \times \vec{B}_1) + \eta_1 \nabla^2 \vec{B}_1, \\ \partial_\tau \vec{B}_2 &= \vec{\nabla} \times (\vec{v} \times \vec{B}_2) + \eta_2 \nabla^2 \vec{B}_2\end{aligned}$$

とくに非線形項が支配的なとき、以下のエネルギー輸送が起こる可能性がある！



磁場が 1 種類の MHD ではよく調べられてきた：

- 🌟 指数的成長 (初期, 小スケール) [Kazantsev 1968] ...
- 🌟 速度場との equipartition に近づくと飽和

飽和率は条件次第 $E_B \lesssim O(0.1) E_v$
..... [Irshad+ 2026]

大スケール磁場は、小スケールダイナモを抑制する
[Hugen, Brandenburg 2004] ...

一定程度理解できるようになった：

- ## ★ 近似的保存量

- 磁場が最大限にヘリカルな場合
 $B_1(t)^2 \xi_1(t) = \text{const.}$ 磁気 helicity
 [Frisch+ 1975] ...

- 磁場が非ヘリカルな場合
 - $B_1(t)^4 \xi_1(t)^5 = \text{const.}$ Hosking integral
 - [Hosking+ 2021] [Zhou+ 2022] ...

- ## ★タイムスケール

- 線形摂動
 - $\Gamma_{B_1} = \text{Im } \omega_{B_1}(k)$ MHD waves
 - [Jedamzik+ 1997] [Subramanian+ 1998] ...

- 非線形 (not fully established)
 - $\Gamma_{B_1} = t_{\text{dec}}^{-1}(B_1, \xi_1)$ 磁気 reconnection
 - [Hosking+ 2021, 2023] ...

標準模型の $\text{global } \text{U}(1)_{L_\mu - L_\tau}$ 対称性はアノマリーを持たないので、ゲージ化されている可能性がある。その場合、 $\text{U}(1)_{L_\mu - L_\tau}$ ゲージ場は L_e と tree-level で結合しないので、実験的制限を比較的免れる。初期宇宙で $\text{U}(1)_{L_\mu - L_\tau}$ 磁場が massless であったとすると、磁場二種類に拡張された MHD によって、 $\text{U}(1)_{\text{em}}$ 磁場およびプラズマ流体とどのように共発展するか議論できる。

	SM field	U(1)_{L_μ-L_τ} charge
シナリオ1:	L_μ	+1
$\vec{B}_1 = \vec{B}_{\text{em}}, \quad \vec{B}_2 = \vec{B}_{L_\mu-L_\tau}$	L_τ	-1
シナリオ2:	μ_R	+1
$\vec{B}_1 = \vec{B}_{L_\mu-L_\tau}, \quad \vec{B}_2 = \vec{B}_{\text{em}}$	τ_R	-1
	others	0