

global three-dimensional
magnetohydrodynamic simulations of
galactic gaseous disks.

(1. amplification of mean magnetic fields
in an axisymmetric gravitational potential.)

Nishikori, H., Machida, M., & Matsumoto, R.

(発表者:東北大学大学院理学研究科天文学専攻
服部研究室M1 中村翔)

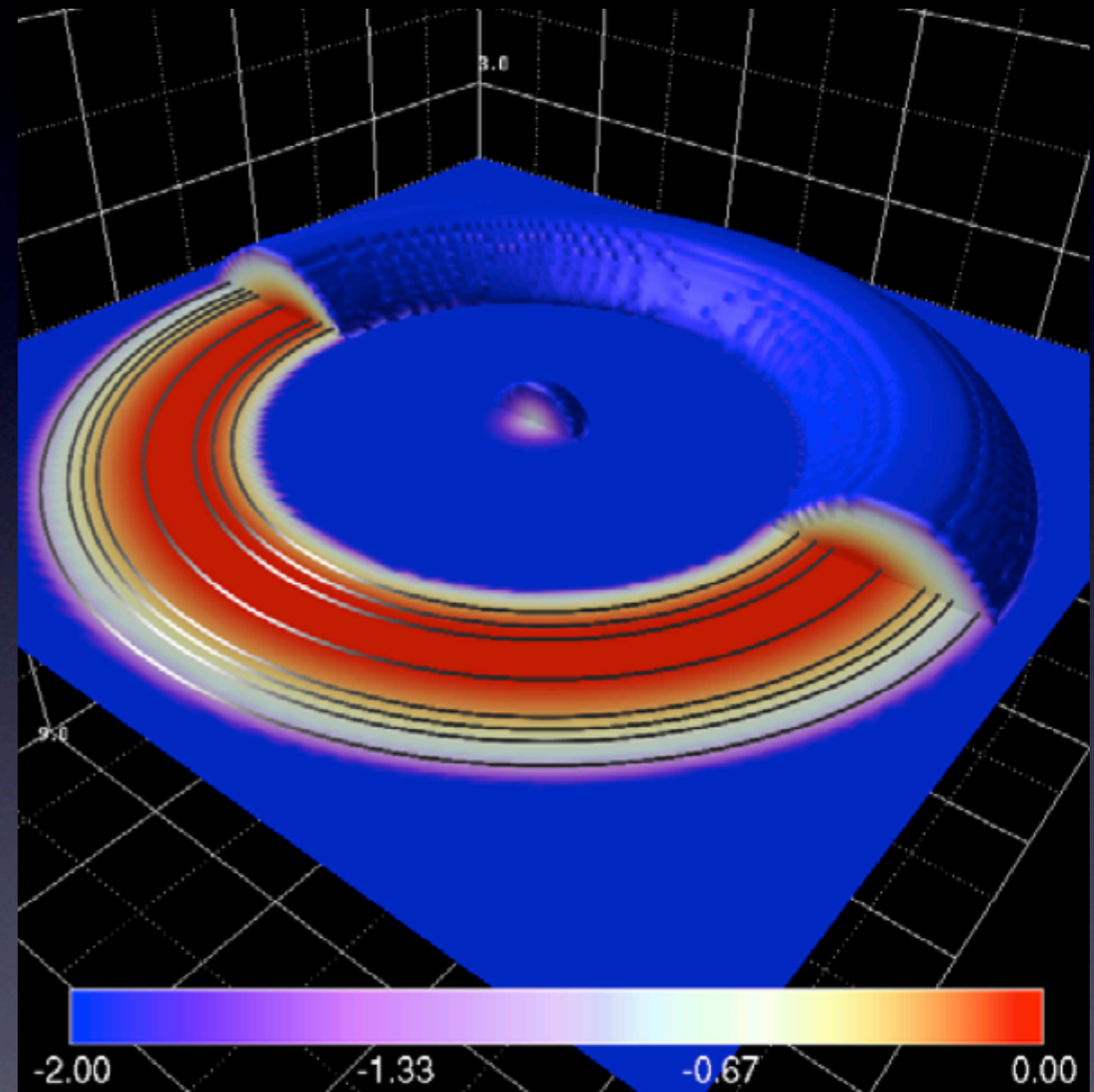
galactic disk MHD simulation & result.

✦ Simulation code.

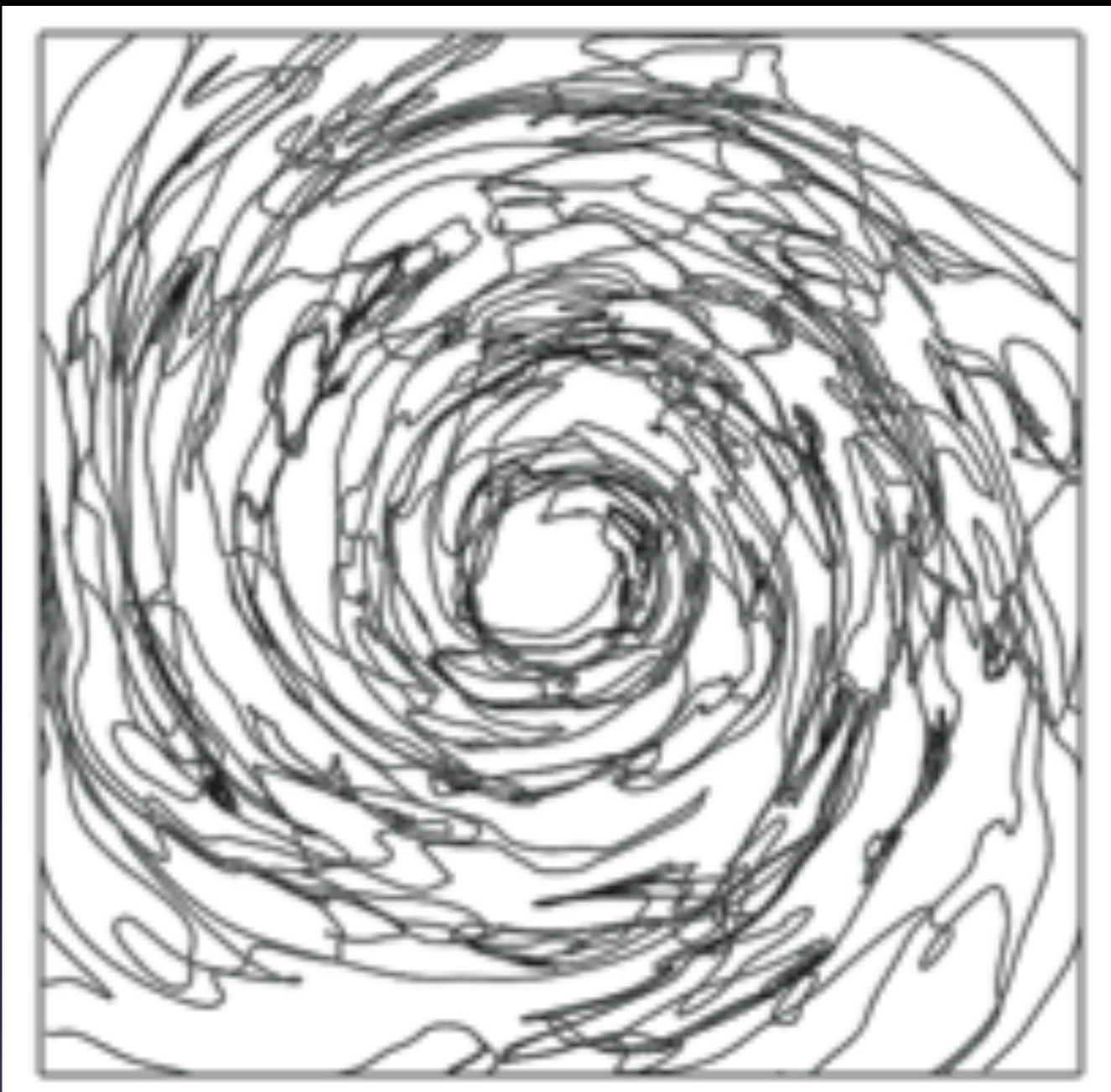
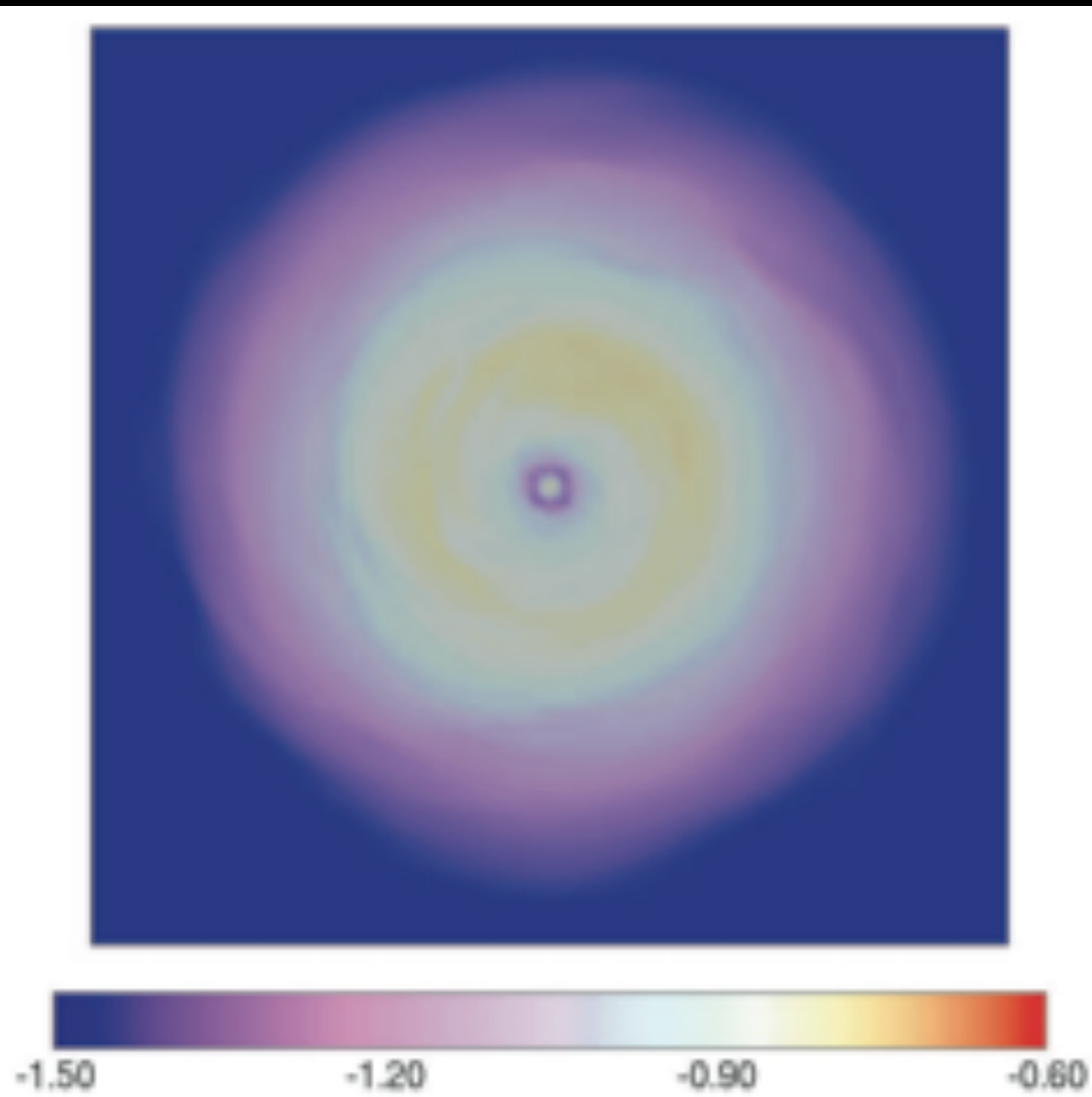
- modified Lax-Wendroff method.

✦ 初期条件

- Miyamoto-Nagai potential(軸対称、ダークマター含む)。
- 10kpcの位置で密度最大、一定の角運動量を持つような力学平衡にあるガストーラス。
- トーラス内に方位角方向の弱い磁場。
- 中心に吸収境界を設置。

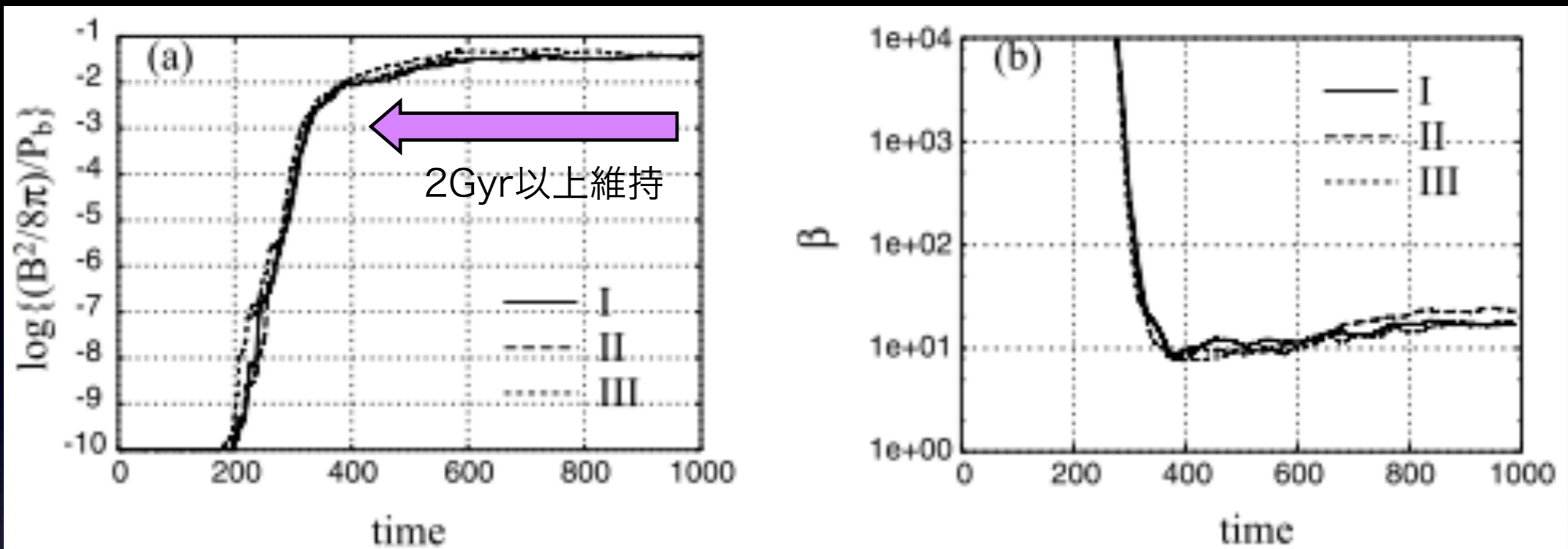


- 図は初期状態。

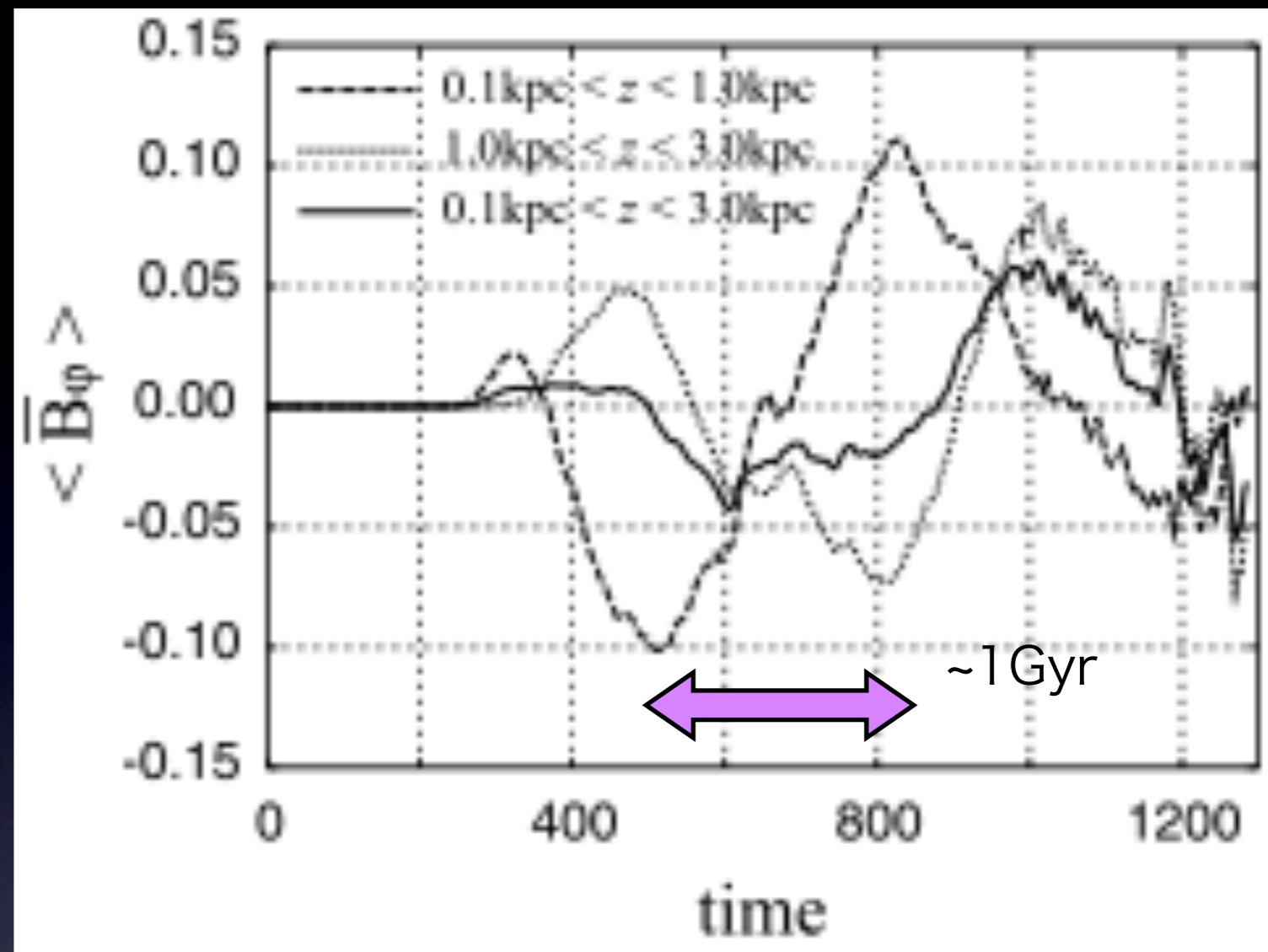
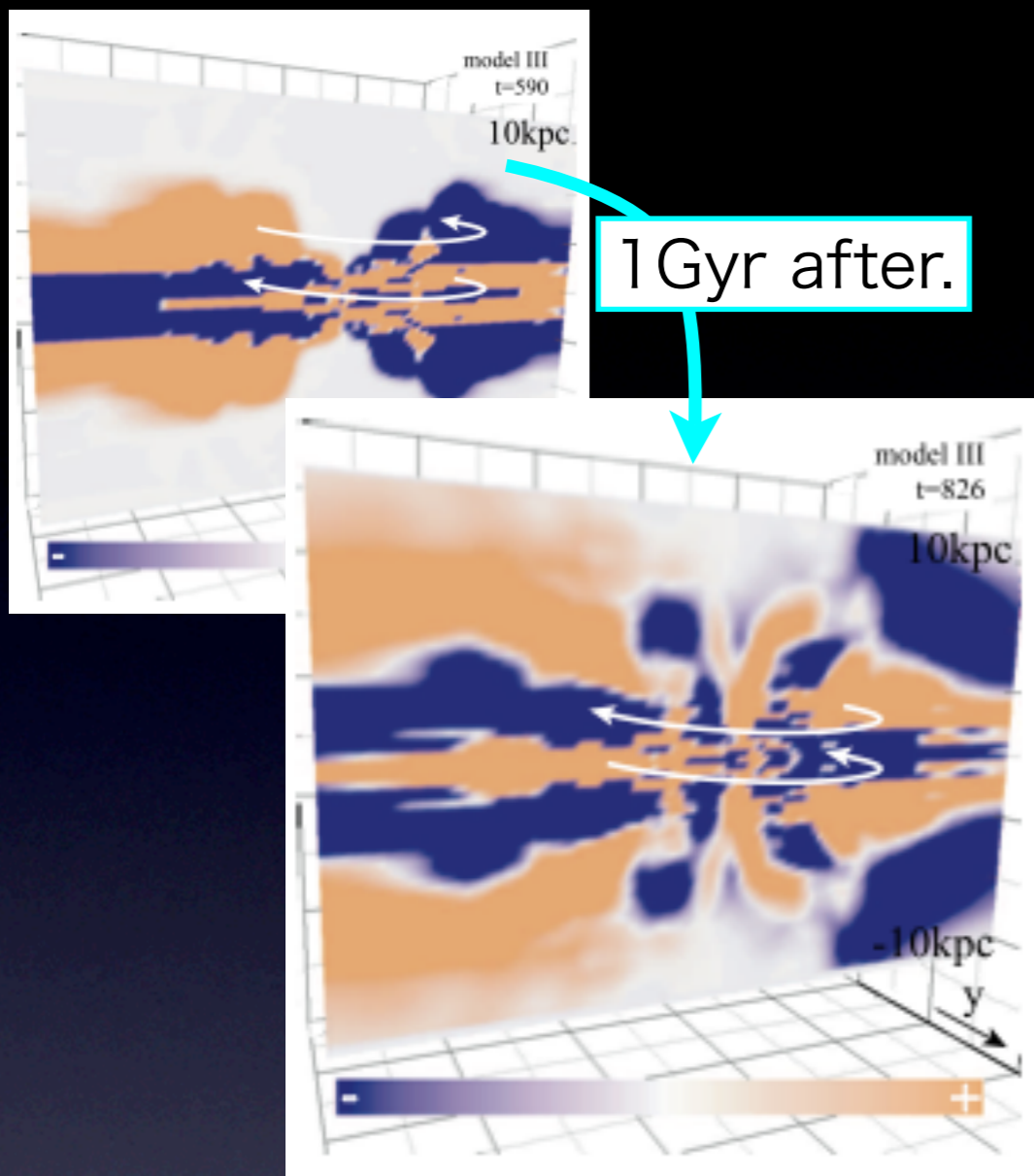


- 3.8Gyr after.

- 磁場は大局的には螺旋状の構造、局所的には乱流構造を持つことがわかる。
- 円盤内で磁場の増幅が起こっている。
- 密度分布にもわずかに非軸対称な成分が見られる。

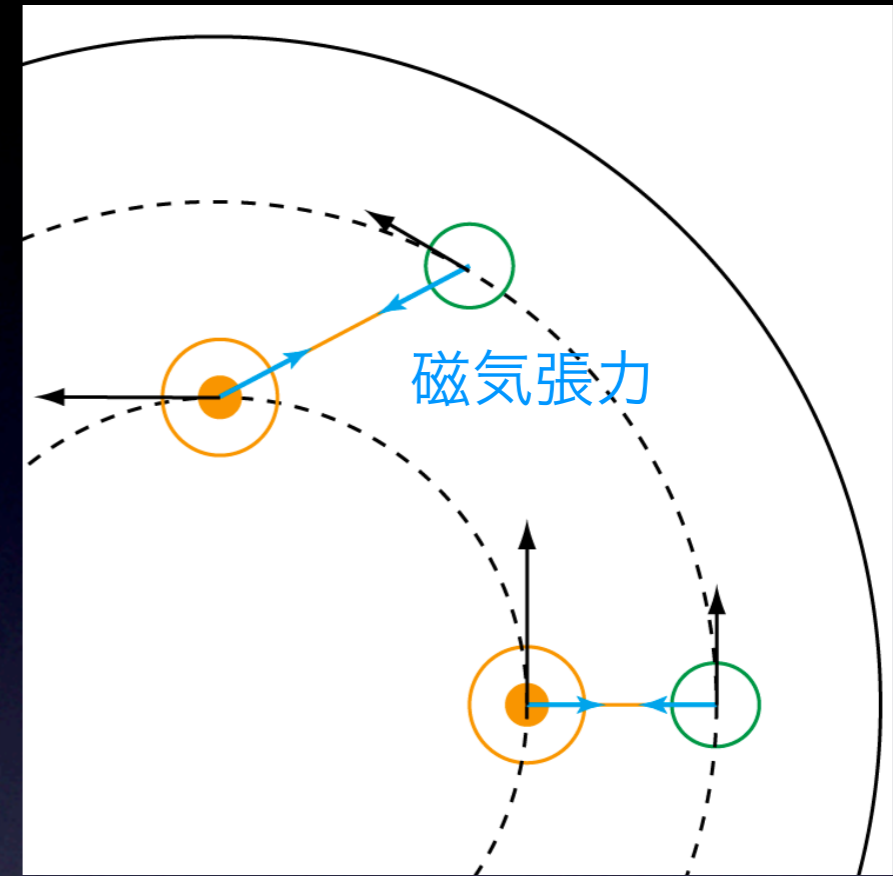
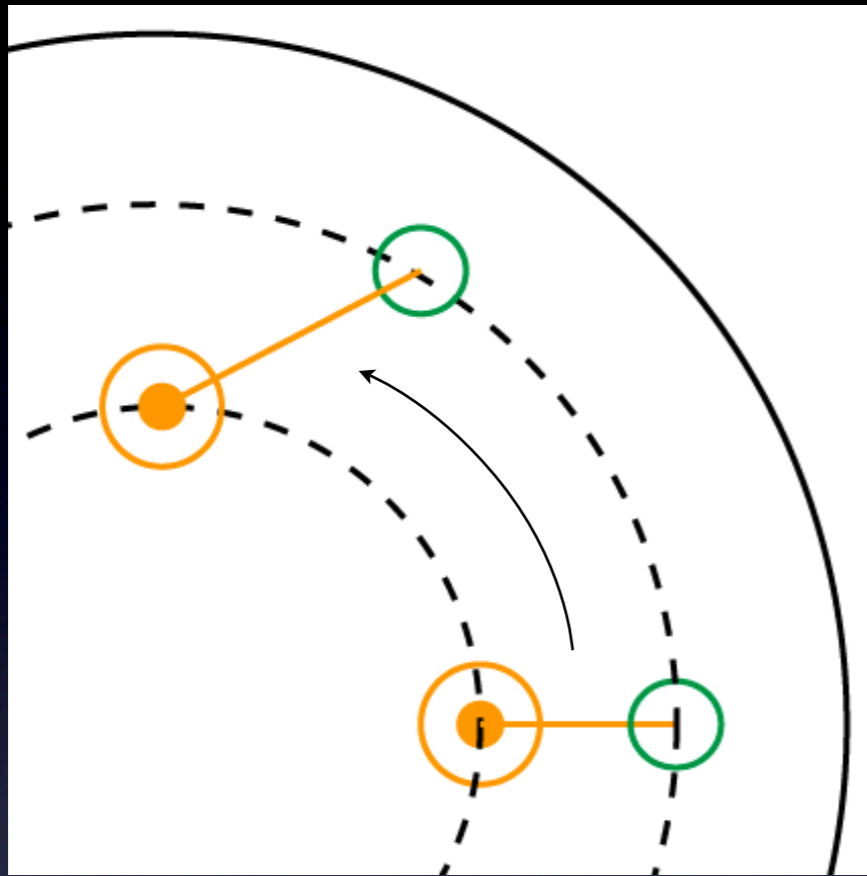


- 磁場のエネルギー密度とプラズマ β の時間変化。
- エネルギー密度は指数関数的に成長した後、頭打ちになっている。このときの磁場の大きさは約 $1 \mu\text{G}$ 程度。プラズマ β も同様の振る舞いを見せている。
- 磁気流体的な不安定性によって、磁場の増幅と維持がなされている。
- 初期磁場が $\beta_0=100, 1000$ の両方の場合にも同様の結果が得られている。



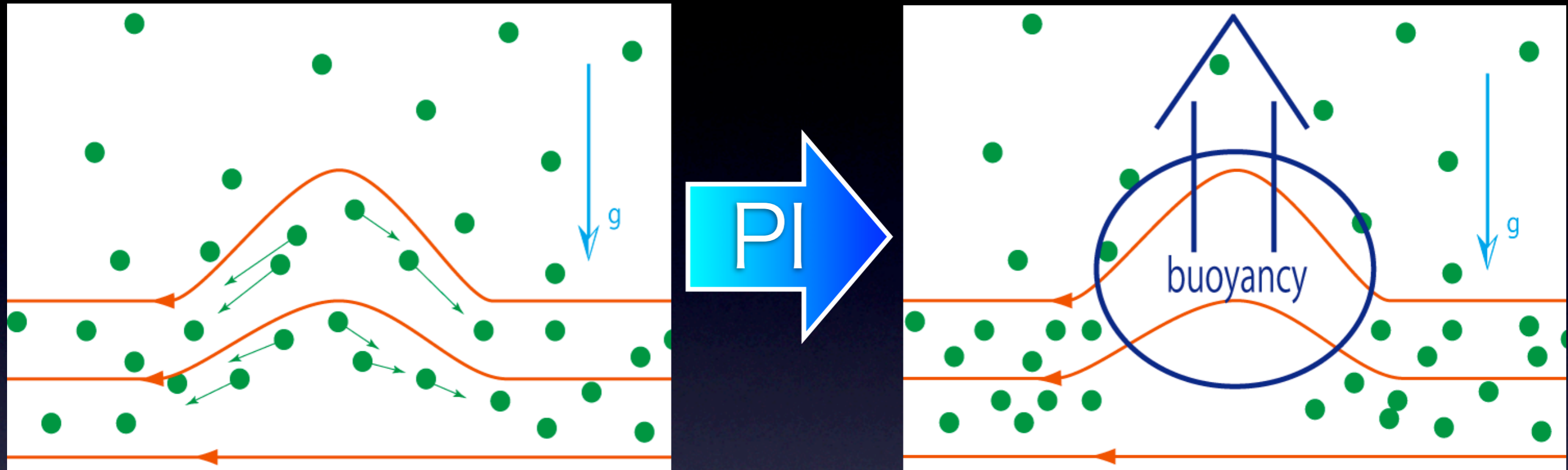
- 磁場がdiskからcoronaへと上昇していく様子と磁場の角度方向成分の時間変化を表した図。
- diskとcoronaで磁場の角度方向の成分が反転している。
- 初期磁場が $\beta_0=100$, 1000の両方の場合にも同様の結果が得られている。

Physical process I.



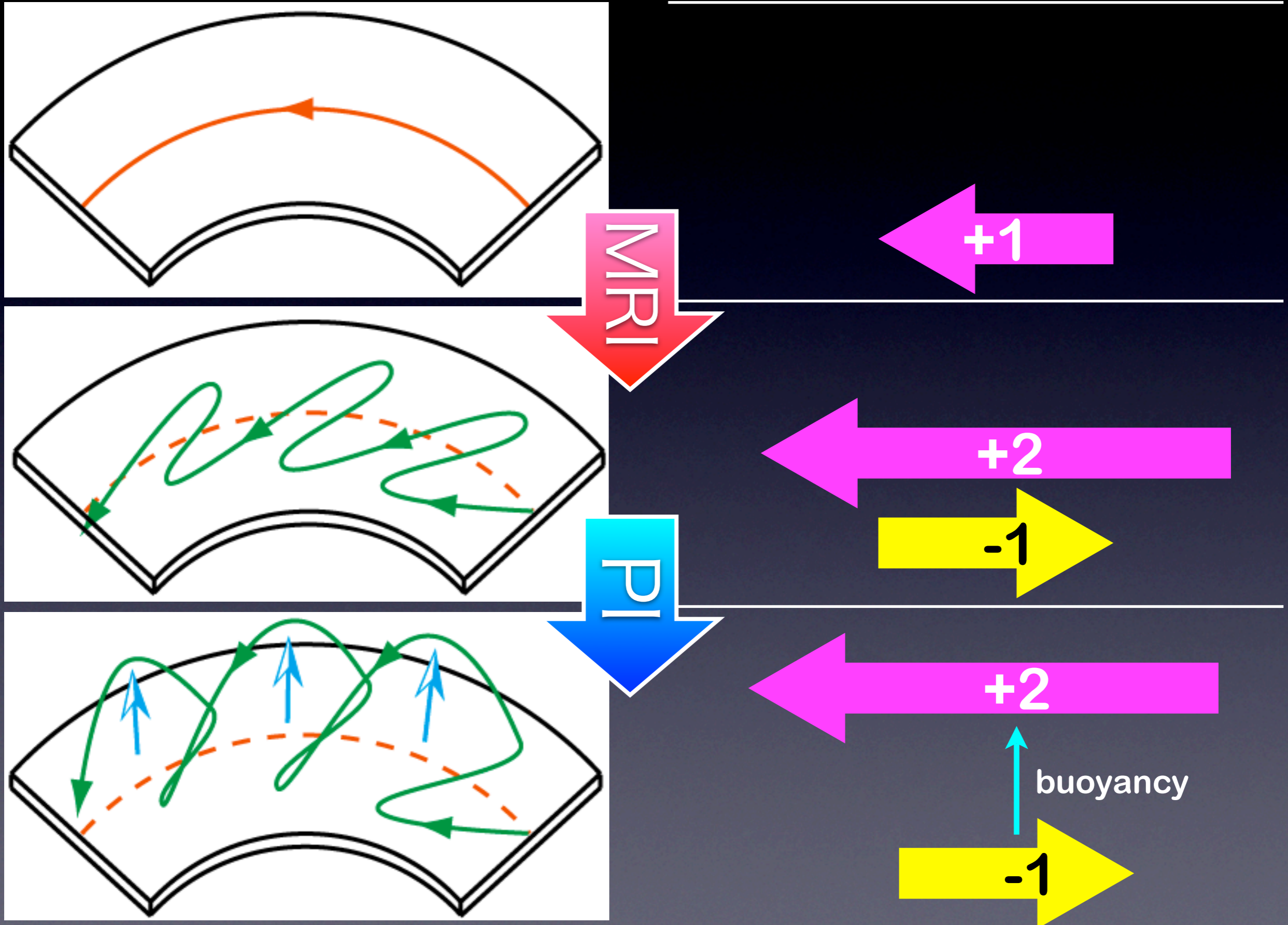
- 差動回転する完全電離ガスdiskに弱い磁場が存在するとMRI(Magneto-Rotational Instability、磁気回転不安定性)が発生する。
- 外側にズレた流体要素は磁気張力により加速され、遠心力が重力よりも強くなりさらに外側にズれていく。内側にズレた流体要素は磁気張力により減速され、遠心力が重力よりも弱くなり、内側に落ちていく。磁場により角運動量が円盤の外側へと輸送される。その結果、ガスに凍結している磁力線は引っ掻き回され、磁場の増幅が起こる。

Physical process II.



- 鉛直下向きに重力が存在するような系を考える。摂動が加わって磁場の一部が持ち上がると、その磁場に沿ってガスは落ちる。すると持ち上がった部分はさらに周囲より軽くなり、さらに上昇を続ける。この不安定性をParker Instabilityと呼ぶ。

- MRI(MagnetoRotationalInstability)とPI(Parker Instability)のコラボによる磁場の増幅と反転。



Summary&Discussion.

- 3次元MHD simulationによって銀河円盤をsimulationしたところ、「MRIにより銀河磁場が増幅され、Parker Instabilityにより磁場がcoronaに逃げる」という準定常状態に落ち着くシナリオが確認された。この状態は少なくとも2Gyr以上維持され続けることがわかった(galactic dynamo)。
- diskとcoronaで磁場の向きが反転する現象が起きることがわかった。
- 準定常状態に落ち着いたときの磁場の大きさは初期磁場の大きさには依存しない。初期に垂直方向の磁場が存在していたとしても同様の結果となる。ただし垂直成分がある場合には、磁力線に沿ってガスが外に逃げ出すmagnetocentrifugally driven outflowが起こる。
- この数値計算の結果は、観測から得られている磁場の値(数 μ G)より少し小さな値となっている。超新星爆発による磁場の増幅・非軸対称ポテンシャルの効果・cosmic-ray pressureなどを無視したためと思われる(future workに期待)。