

Gravitational Baryogenesis

Review 論文

Davoudiasl et al.

Phys. Rev. Lett., 93, 201301, (2004).

京都大学 天体核研究室

M1 高橋実道



目次

- イン트로
- Gravitational Baryogenesis
- グラビティーノ問題
- まとめ



■ イントロ



Baryon asymmetry

宇宙の初期: バリオン数 = 反バリオン数

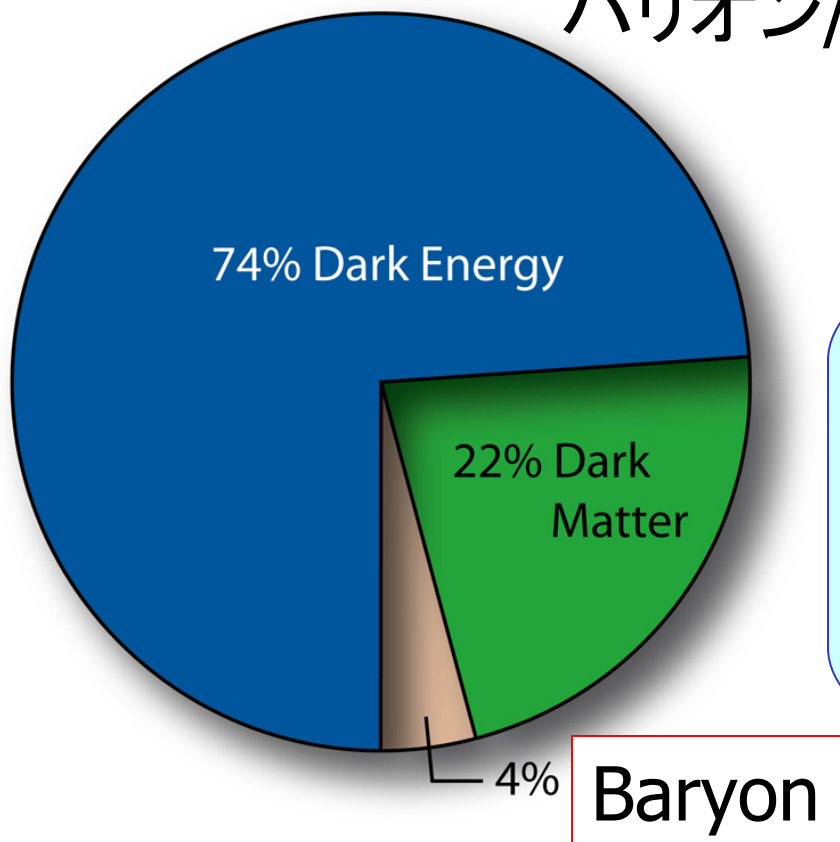
現在の宇宙: バリオン数 \gg 反バリオン数

バリオン/エントロピー比 $\frac{n_B}{s} \sim 10^{-10}$



バリオンを生成するモデル
が必要

"Baryogenesis"





Baryogenesis

- 必要な条件: サハロフの3条件
 1. バリオン数を保存しない反応の存在
 2. C, CPを破る反応の存在
 3. 熱平衡からの離脱

この条件を満たすことが必要と思われていた

(レプトジェネシスもこれを満たす)



Gravitational Baryogenesis

- 条件2, 3を必要としないバリオン生成モデル

熱平衡状態でバリオン生成

- グラビティーノ問題も回避可能
(baryogenesis のモデルに対する制限)



Gravitational Baryogenesis



熱平衡でのバリオン生成(1)

- リッチスカラー(R)とバリオンカレント(J)の相互作用を導入

$$\frac{1}{M_*^2} \int d^4x \sqrt{-g} (\partial_\mu R) J^\mu$$
$$= \frac{1}{M_*^2} \int d^4x \sqrt{-g} \dot{R} J^0$$



$$\Delta E \propto \begin{cases} -\dot{R} & (\text{バリオン}) \\ +\dot{R} & (\text{反バリオン}) \end{cases}$$

粒子と反粒子にエネルギー差

熱平衡でのバリオン生成(2)

粒子・反粒子のエネルギーのずれ $\Delta E \propto \mp \dot{R}$

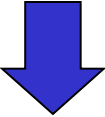
熱平衡  バリオン数を保存しない反応

$$\underline{(\text{粒子数}) - (\text{反粒子数}) \neq 0}$$

正味のバリオン数密度

$$n_B = N_B - N_{\bar{B}} \propto \int dp^3 \left\{ \frac{1}{e^{(E-\Delta E)/kT} \pm 1} - \frac{1}{e^{(E+\Delta E)/kT} \pm 1} \right\} \propto \Delta ET^2$$

反応のDecouple

- $(\text{バリオン数}) - (\text{反バリオン数}) \propto \dot{R}$
 - 宇宙膨張 $\rightarrow \dot{R} \propto H^3$
 - \rightarrow 正味のバリオン数
 - \rightarrow 現在の観測値を説明できなくなる
- 
- 熱平衡でなくなる必要がある。
 - **バリオン数を保存しない反応がdecouple** することが必要


Decouple 時の宇宙(1)

■ バリオン生成数



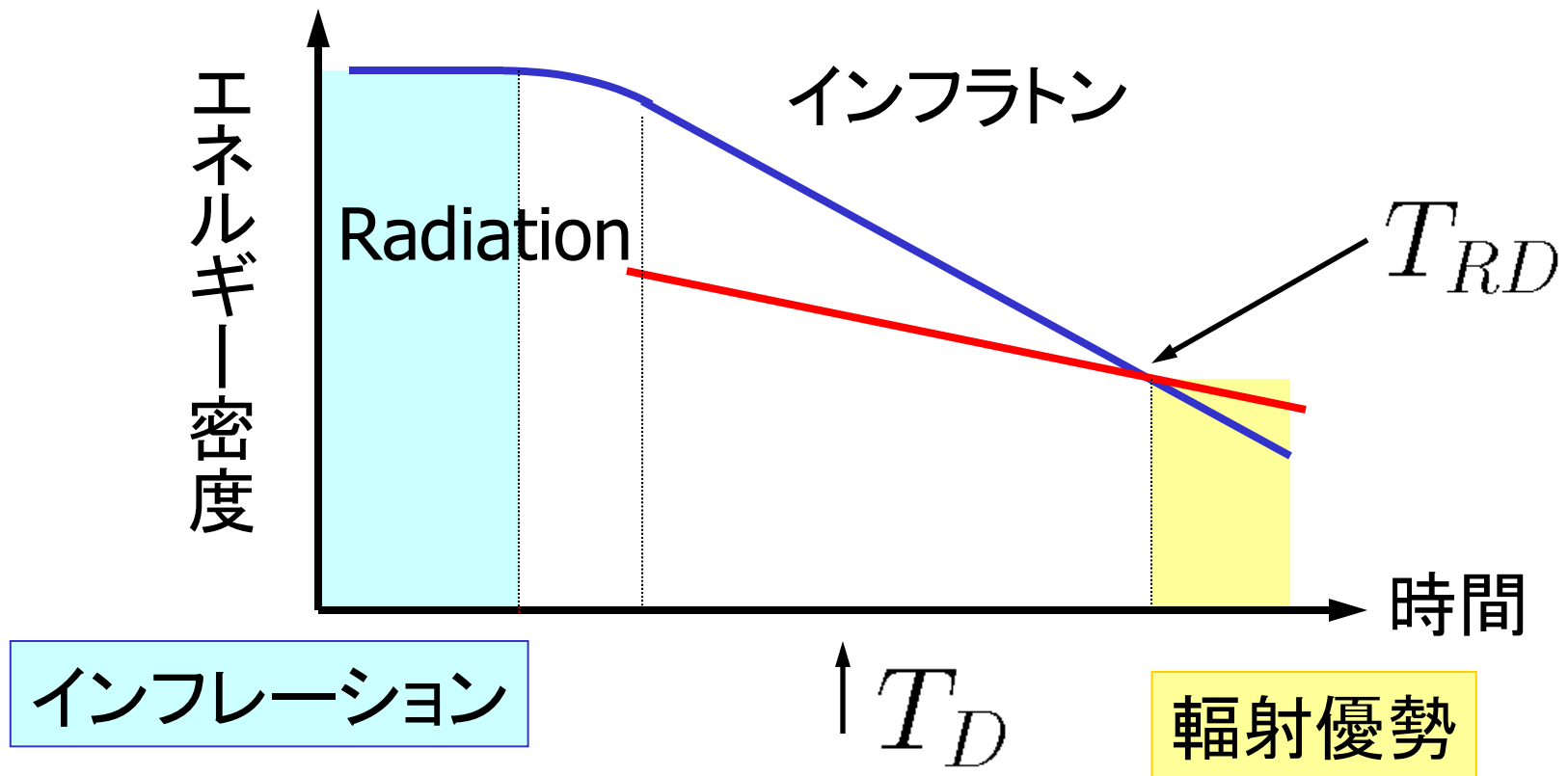
decouple時の宇宙モデルに依存
($T = T_D$: decouple 温度)

- インフレーション終了後～輻射優勢の間
- エネルギー密度：インフラトン場 ϕ が支配的
- ポテンシャル $V \propto \phi^N, N > 4$ を仮定


$$\text{EOS : } P = w\rho, \quad 1/3 < w < 1$$

Decouple 時の宇宙(2)

- エネルギー密度と T_D , T_{RD} (reheating 温度) の関係



生成されるバリオン数

$$\frac{n_B}{s} \sim \frac{T_D^8}{M_*^2 M_P^3 T_{RD}^3} \left(\frac{T_{RD}}{T_D} \right)^{9(1-w)/2} .$$

- バリオン数を保存しない反応の interaction rate

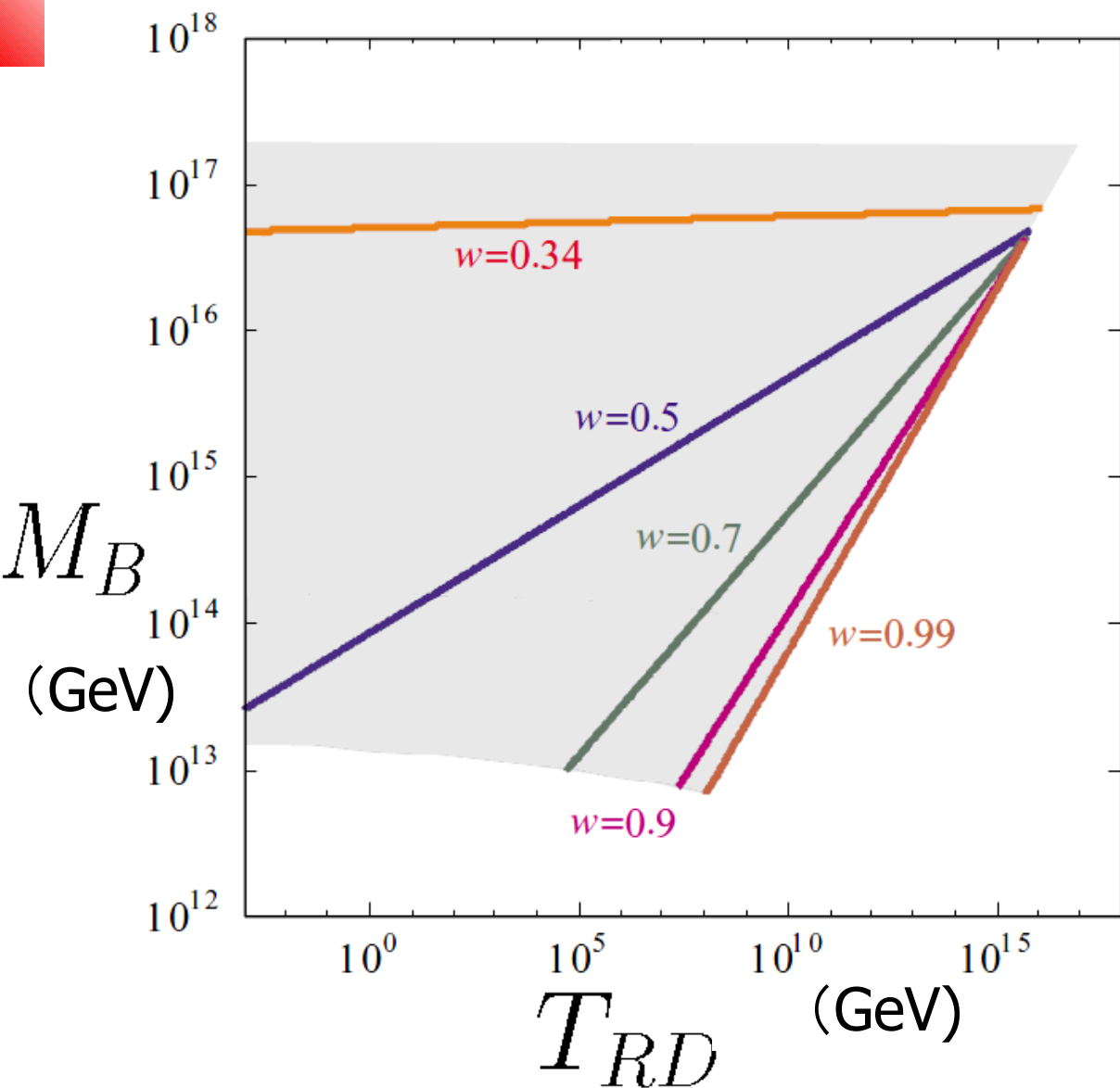
$$\Gamma \sim \frac{T^3}{M_B^2} \quad (M_B: \text{反応のエネルギースケール})$$

を仮定。

反応の decouple: $H = \Gamma \sim \frac{T_D^3}{M_B^2}$ (T_D : decouple 温度)

T_D を消去

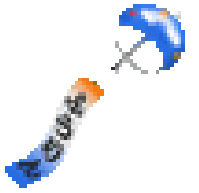
観測に合うパラメータの値



$$\frac{n_B}{s} \sim 10^{-10} \sim$$

$$\frac{T_{RD}^5}{M_*^2 M_P^3} \left(\frac{M_B^2}{M_P T_{RD}} \right)^{\frac{9w+7}{3(1-w)}}$$

$M_* = M_P$ を仮定



■ グラビティーノ問題



グラビティーノ問題

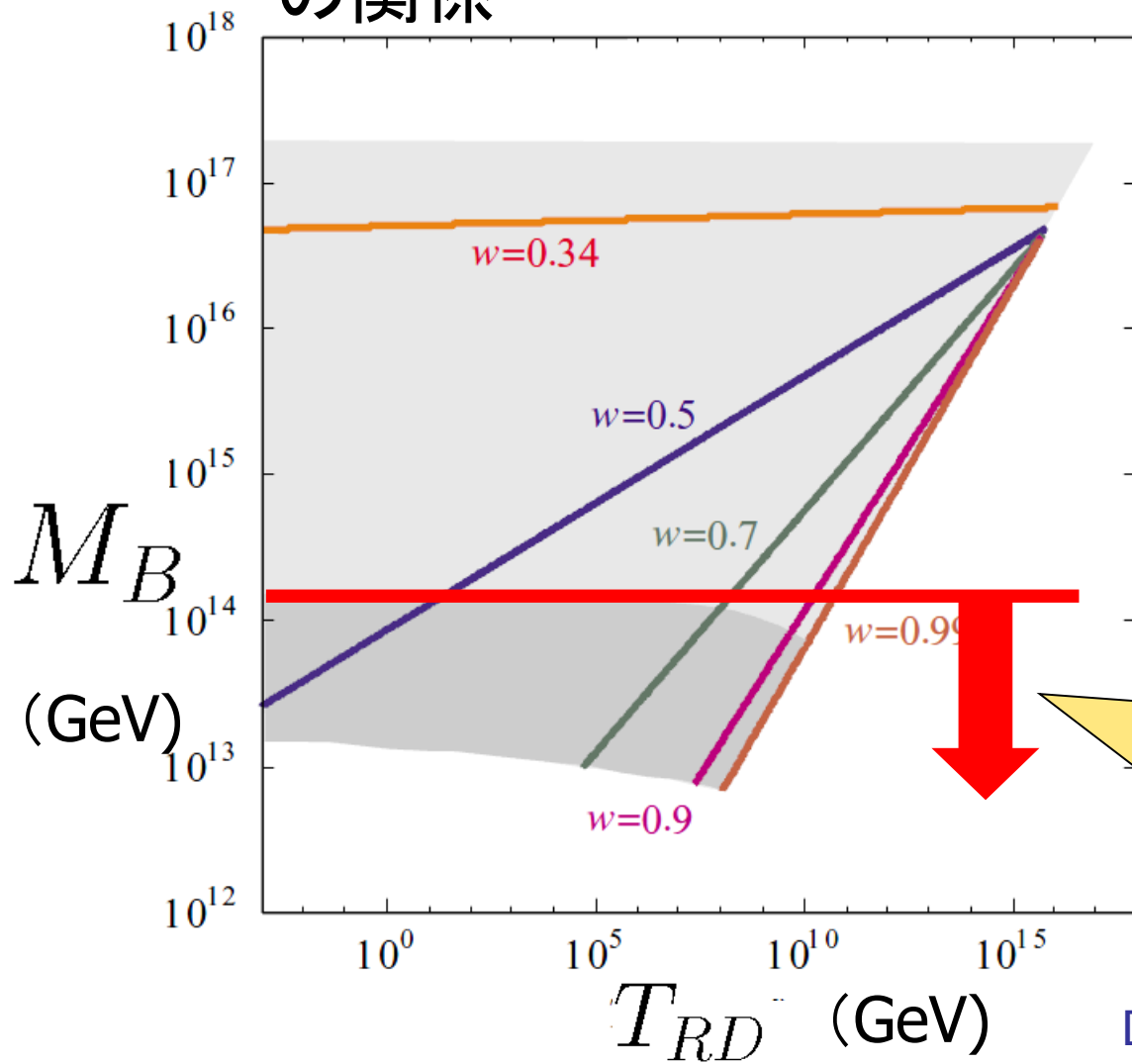
グラビティーノ: グラビトンの super partner
崩壊してLSP(ダークマターの候補)

- エネルギー密度: $LSP < \text{ダークマター}$
- 宇宙の温度 \nearrow
 - グラビティーノ生成数 \nearrow
 - 崩壊 → LSP生成数 \nearrow

- 宇宙の最高温度に上限(グラビティーノ問題)
 - バリオン生成モデルにも制限

Gravitational baryogenesis への制限

- 観測値に合うバリオン数を説明する、 M_B と T_{RD} の関係



$$\frac{n_B}{s} \sim 10^{-10} \sim$$

$$\frac{T_{RD}^5}{M_*^2 M_P^3} \left(\frac{M_B^2}{M_P T_{RD}} \right)^{\frac{9w+7}{3(1-w)}}$$

濃いグレー部分：
グラビティーノ問題
から許される領域



まとめ





まとめ

- リッチスカラーとバリオンカレントの相互作用を考えた。
$$\frac{1}{M_*^2} \int d^4x \sqrt{-g} (\partial_\mu R) J^\mu$$
- 粒子・反粒子にエネルギー差
→ 熱平衡でバリオン生成
- $1/3 < w < 1$ の宇宙で反応がdecoupleしたとき、**グラビティーノ問題を回避して現在の観測に合うバリオン数を生成可能**