

Baryogenesis

東京大学

理学系研究科 宇宙論研究室

松浦俊司

Baryogenesis

- 宇宙論

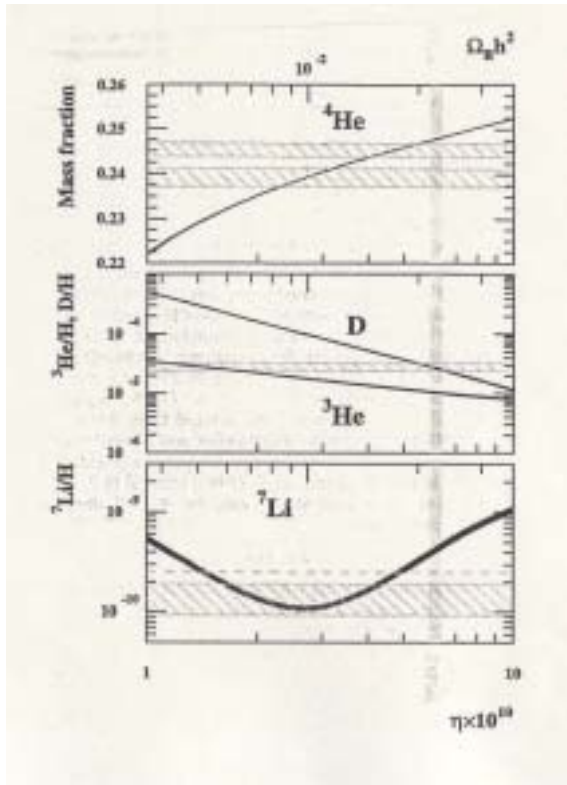
- 1, Big Bang nucleosynthesis (BBN)
- 2, Cosmic microwave background (CMB)
- 3, Dark matter
- 4, Inflation

- 素粒子

- 1, 標準理論を越える物理
- 2, 対称性とその破れ
- 3, パラメーターに対する制限

gravitino problem

BBNの後にhigh energyのphotonが発生するとBBNで作られた軽元素が分解してしまう。



長寿命の粒子の量と
寿命に制限がつく

Sakharov の3条件

- Baryon数を破る反応が存在する
- C, CPの破れ
- 非熱平衡

様々なBaryogenesis

- Planck scale baryogenesis
- GUT baryogenesis
- Electroweak baryogenesis
- Leptogenesis
- Scalar 場のcoherent oscillation (Affleck Dine)

Affleck-Dine mechanism

MSSMにはpotentialが立ち上がらない方向が存在する。

(例)

$$L_i = \begin{pmatrix} \phi / \sqrt{2} \\ 0 \end{pmatrix}, H_u = \begin{pmatrix} 0 \\ \phi / \sqrt{2} \end{pmatrix}$$

実際には

SUSYの破れ

非繰り込み可能な項

の効果を考えなくてはならない。

potentialが持ち上がる

$$V = m_\phi^2 |\phi|^2 - c_H H^2 |\phi|^2 + \left[\frac{A m_{3/2} + aH}{8M} \phi^4 + h.c. \right] + \frac{|\phi|^6}{4M^2}$$

$$M \approx \frac{\langle H_u \rangle^2}{m_\nu}$$

Baryon数、Lepton数はglobalなU(1)に対する量子数

$$\begin{aligned} n &= iq(\dot{\phi}^* \phi - \phi^* \dot{\phi}) \\ &= q\varphi^2 \dot{\theta} \end{aligned}$$

$$(\phi = \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi e^{i\theta})$$

一様等方な時空の中でのscalar場の運動方程式

$$\ddot{\phi} + 3H\dot{\phi} + \frac{\partial V}{\partial \phi^*} = 0$$

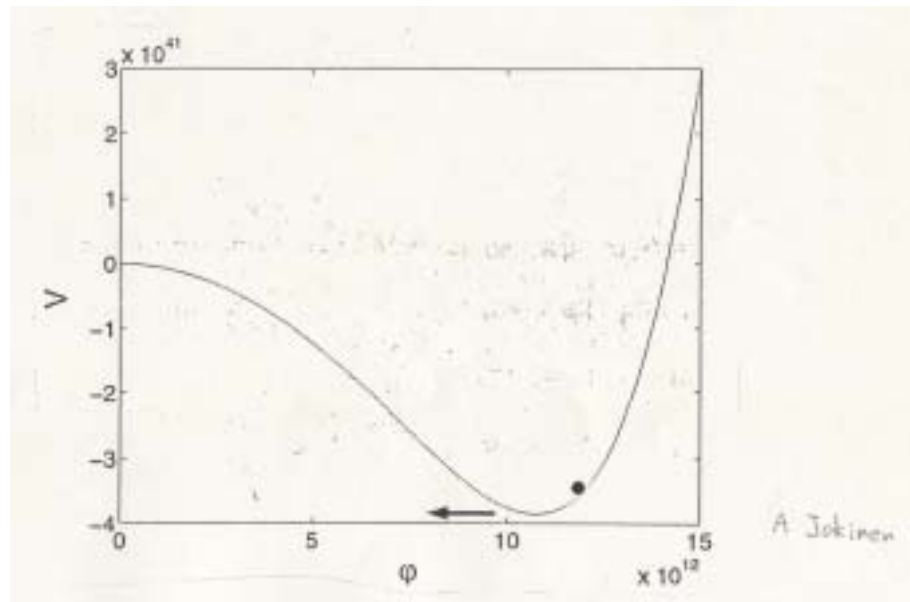
n に対する運動方程式

$$\dot{n} + 3Hn = 2q \operatorname{Im}\left(\frac{\partial V}{\partial \phi} \phi\right)$$

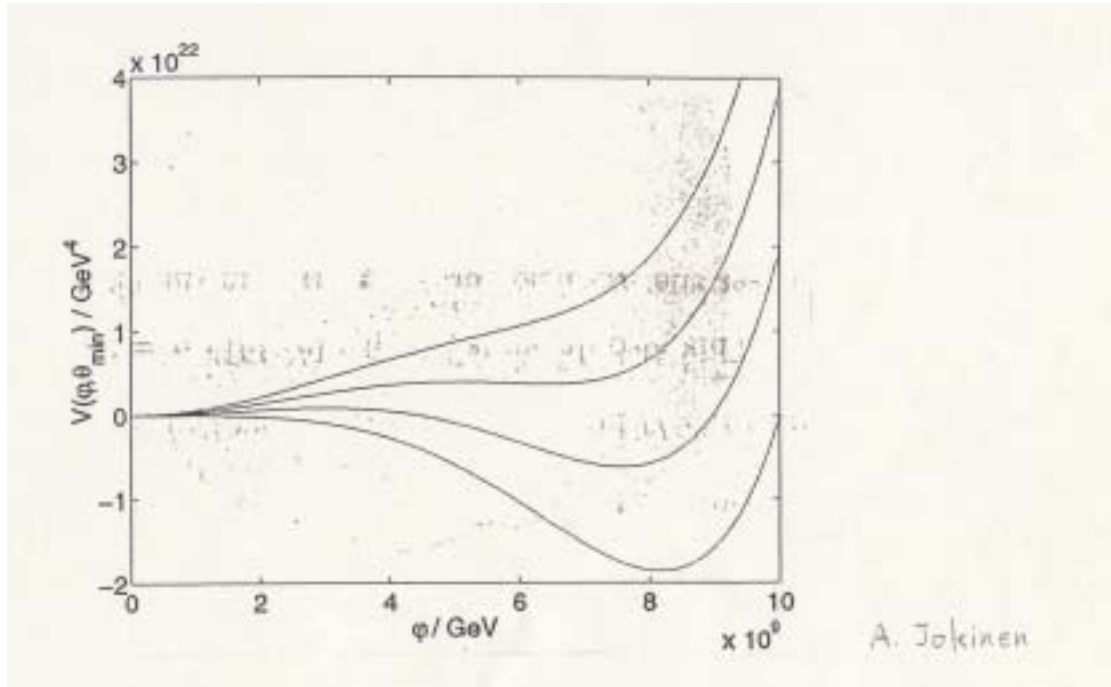
* 動径方向の動き

inflation中 $H^2 \gg m_\phi^2$

$$V = (m_\phi^2 - c_H H^2) |\phi|^2 + \dots + \frac{|\phi|^6}{4M^2}$$



$$H^2 \approx m^2 \phi$$



coherent oscillation を開始する。

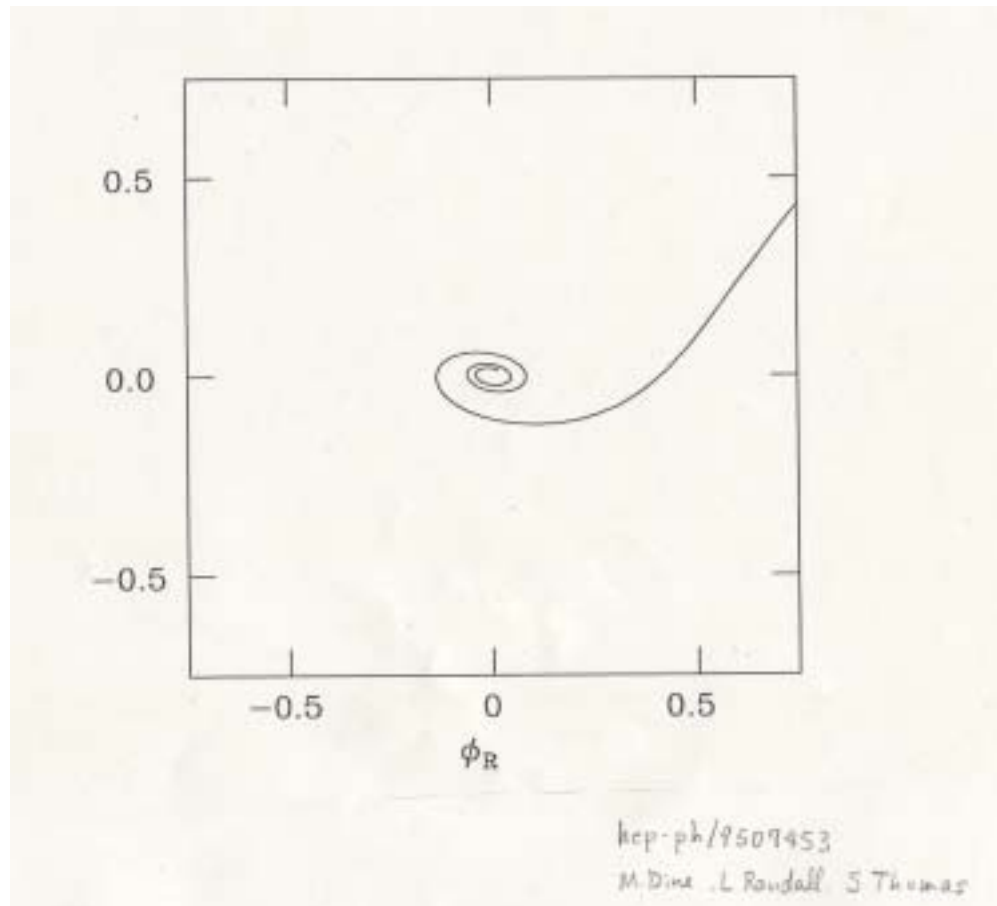
* 位相方向

$$V = m_\phi^2 |\phi|^2 - c_H H^2 |\phi|^2 + \left[\frac{Am^{3/2} + aH}{8M} \phi^4 + h.c. \right] + \frac{|\phi|^6}{4M^2}$$

$$\partial_\theta V \propto \partial_\theta (\phi^4 + \phi^{*4}) \neq 0$$

$$\Rightarrow \dot{\theta} \neq 0$$

これらをまとめると、scalar場の動きは



comoving volumeあたりのLepton数は

$$\begin{aligned} R^3 n &= 2q \int_{t_i}^t R^3 \operatorname{Im}\left(\frac{Am_{3/2}}{2M} \phi^4\right) \\ &= 2q \int_{t_i}^{t_{osc}} R^3 \operatorname{Im}\left(\frac{Am_{3/2}}{2M} \phi^4\right) + \int_{t_{osc}}^t R^3 \operatorname{Im}\left(\frac{Am_{3/2}}{2M} \phi^4\right) \\ &\quad \Downarrow \qquad \qquad \qquad \Downarrow \\ &\approx \text{const} \qquad \qquad \qquad \propto t^{-2} \end{aligned}$$

$$\frac{n_L}{s} \approx \frac{MT_{RH}}{12M_{pl}} \left(\frac{m_{3/2}}{m_\phi} \right)$$

Lepton数はoscillationが始まった時点で決定される。

SphaleronによってLepton数の一部が
Baryon数に移行する

$$\frac{n_B}{s} = \frac{8}{23} \left| \frac{n_L}{s} \right|$$

gravitino 問題を避けるためには

$$T_{RH} \leq 10^8 \text{ GeV} \quad \rightarrow \quad m_\nu \leq 10^{-6} \text{ eV}$$

後記) このトラペの中に出てくる数式の幾つかは、説明を簡単にするため厳密なものとはなっていない部分があります。正確な数式は [hep-ph/9507453](#) や 最近の発展は [Masaaki Fujii](#) さんなどの論文を参考にしてください。