

Supersymmetric hybrid inflation

北嶋直弥

東京大学宇宙線研究所理論グループ

2010年8月31日

概要

Hybrid inflation は超対称性 (SUSY) を有する理論の枠組みで記述される代表的なインフレーションモデルである。本発表では Supersymmetric (SUSY) hybrid inflation の基本を解説し WMAP で得られた密度揺らぎやスペクトル指数の値を説明する試みを述べる。

1 Set up

Superpotential が

$$W = \kappa S(\Psi\bar{\Psi} - f_a^2) \quad (1)$$

で与えられるモデルを考える。ここで、 S , Ψ , $\bar{\Psi}$ は gauge singlet な場で、 κ は正の実数値をとる結合定数である。これから導かれる scalar potential は

$$\begin{aligned} V &= \left| \frac{\partial W}{\partial S} \right|^2 + \left| \frac{\partial W}{\partial \Psi} \right|^2 + \left| \frac{\partial W}{\partial \bar{\Psi}} \right|^2 \\ &= \kappa^2 |\Psi\bar{\Psi} - f_a^2|^2 + \kappa^2 |S|^2 (|\Psi|^2 + |\bar{\Psi}|^2). \end{aligned} \quad (2)$$

となる。このポテンシャルの真の真空では、 $S = 0$, $\Psi\bar{\Psi} = f_a^2$ の真空期待値をとる。しかし、 $|S| > f_a$ では Ψ , $\bar{\Psi}$ の場は正の二乗質量を持ち、 $\Psi = \bar{\Psi} = 0$ をとるとき最小となる。このとき、宇宙は $V = \kappa^2 f_a^4$ の偽の真空エネルギーに支配されインフレーションが起こる。

2 輻射補正

V への 1 ループ輻射補正は、 $|S| > f_a$ で、

$$\begin{aligned} \Delta V_{1\text{-loop}} &= (-1)^F \frac{m_n^4}{64\pi^2} \ln \frac{m_n^2}{\Lambda^2} \\ &= \frac{1}{32\pi^2} \left[(\kappa^2 (|S|^2 - f_a^2))^2 \ln \frac{\kappa^2 (|S|^2 - f_a^2)}{\Lambda^2} \right. \\ &\quad \left. + (\kappa^2 (|S|^2 + f_a^2))^2 \ln \frac{\kappa^2 (|S|^2 + f_a^2)}{\Lambda^2} - 2(\kappa^2 |S|^2)^2 \ln \frac{\kappa^2 |S|^2}{\Lambda^2} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

インフレーション中は常に $|S| \gg f_a$ を満たしていれば、1ループ輻射補正は次のように近似できる。

$$\Delta V_{1\text{-loop}} \simeq \frac{\kappa^4 f_a^4}{16\pi^2} \left[\ln \left(\frac{\kappa^2 \sigma^2}{2\Lambda^2} \right) + \frac{3}{2} \right] \quad (4)$$

$$\Delta V'_{1\text{-loop}} \simeq \frac{\kappa^4 f_a^4}{8\pi^2 \sigma} \quad (5)$$

$$\Delta V''_{1\text{-loop}} \simeq -\frac{\kappa^4 f_a^4}{8\pi^2 \sigma^2}. \quad (6)$$

ここで、 $\sigma = \sqrt{2}|S|$ は正準規格化された場である。

3 Supergravity の補正

次に non-minimal Kahler potential

$$K = |S|^2 + |\Psi|^2 + |\bar{\Psi}|^2 + k_S \frac{|S|^4}{4M_P^2} + k_1 \frac{|S|^2 |\Psi|^2}{M_P^2} + k_2 \frac{|S|^2 |\bar{\Psi}|^2}{M_P^2} \quad (7)$$

による supergravity からのポテンシャルへの補正を考える。これから導かれる scalar potential は

$$V = e^{K/M_P^2} [K^{ij*} D_i W (D_j W)^* - 3M_P^{-2} |W|^2] \quad (8)$$

$$\simeq h^2 F^4 \left(1 - k_S \frac{\sigma^2}{2M_P^2} + \gamma \frac{\sigma^4}{8M_P^4} \right) \quad (9)$$

である。ここで、

$$\gamma = 1 - \frac{7}{2} k_S + 2k_S^2. \quad (10)$$

4 Slow-roll パラメーターとインフレーションの終了

輻射補正、supergravity を考慮した有効ポテンシャルとその σ に関する微分は、 $\sigma \gg \sqrt{2}f_a$ のとき、

$$V = \kappa^2 f_a^4 \left[1 - \frac{k_S \sigma^2}{2M_P^2} + \frac{\kappa^2}{16\pi^2} \left(\ln \left(\frac{\kappa^2 \sigma^2}{2\Lambda^2} \right) + \frac{3}{2} \right) \right], \quad (11)$$

$$V' = \kappa^2 f_a^4 \left(-\frac{k_S \sigma}{M_P^2} + \frac{\kappa^2}{8\pi^2 \sigma} \right), \quad (12)$$

$$V'' = \kappa^2 f_a^4 \left(-\frac{k_S}{M_P^2} - \frac{\kappa^2}{8\pi^2 \sigma^2} \right). \quad (13)$$

この有効ポテンシャルから slow-roll パラメーター ϵ, η を計算すると、

$$\epsilon = \frac{1}{2} M_P^2 \left(\frac{V'}{V} \right)^2 \simeq \frac{\sigma^2}{2M_P^2} \left(-k_S + \frac{\kappa^2 M_P^2}{8\pi^2 \sigma^2} \right) \quad (14)$$

$$\eta = M_P^2 \frac{V''}{V} \simeq -k_S - \frac{\kappa^2 M_P^2}{8\pi^2 \sigma^2} \quad (15)$$

インフレーションの終了は $|S| = f_a$ となり、waterfall が始まるか、slow-roll 条件 $\epsilon, |\eta| \ll 1$ が破れるかのいずれかである。ここでは特別な場合として後者を考える。

5 観測との比較

$\sigma = \sigma_f$ でインフレーションが終わるとすると、e-folding は

$$N_e = \frac{1}{M_P} \int_{\sigma_f}^{\sigma_i} \frac{V}{V'} d\sigma = \frac{1}{M_P^2} \int_{\sigma_f}^{\sigma_i} \frac{d\sigma}{-k_S \frac{\sigma}{M_P^2} + \frac{\kappa^2}{8\pi\sigma}} \quad (16)$$

で計算され、これが $N_e \simeq 60$ であることを用いるとパラメータ k_s , κ , f_a に制限を与えることで WMAP で観測された曲率揺らぎ、スペクトル指数を実現することができる。

曲率揺らぎは

$$P_\zeta = \frac{1}{12\pi^2 M_P^6} \left(\frac{V^{3/2}}{V'} \right)^2, \quad (17)$$

スペクトル指数は

$$n_s \simeq 1 - 6\epsilon + 2\eta \quad (18)$$

で計算されるので、 f_a , κ , k_S が適当な値をとることで WMAP の観測値 $P_\zeta = (2.441_{-0.092}^{+0.088}) \times 10^{-9}$, $n_s = 0.963 \pm 0.012$ を実現できる。(次頁の図参照) よって、 $f_a \sim 10^{15} \text{ GeV}$, $k_S \sim 0.01$ で WMAP の密度揺らぎとスペクトル指数を説明するインフレーションが実現できる。結合定数 κ は waterfall が起こる前にインフレーションが終わるという条件から制限され、 $\kappa \simeq 0.01$ であることがわかる。

参考文献

- [1] G. R. Dvali, Q. Shafi, and R. K. Schaefer, Phys. Rev. Lett. 73, 1886 (1994)
- [2] M. Bastero-Gil, S. F. King and Q. Shafi, Phys. Lett. B 651, 345 (2007)

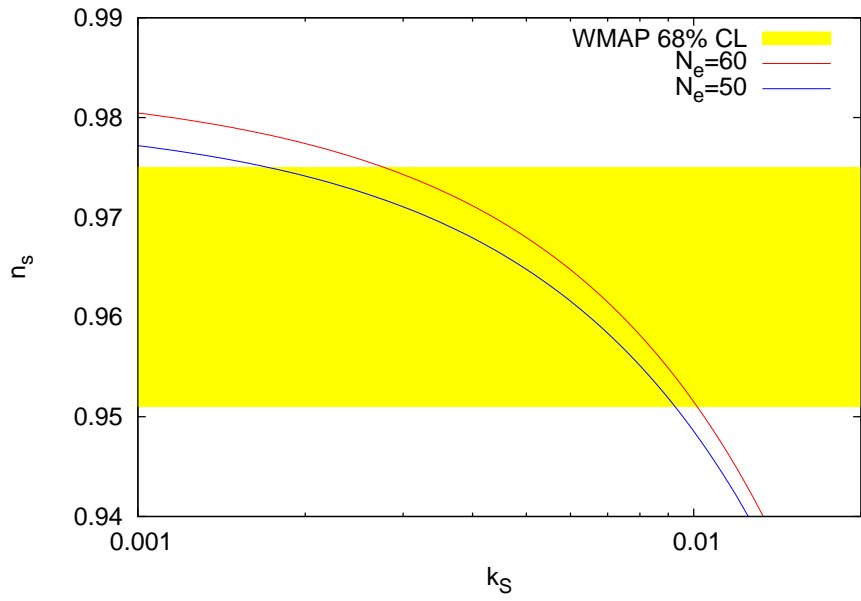


図1 スペクトル指数の k_S , N_e 依存性と観測値との比較

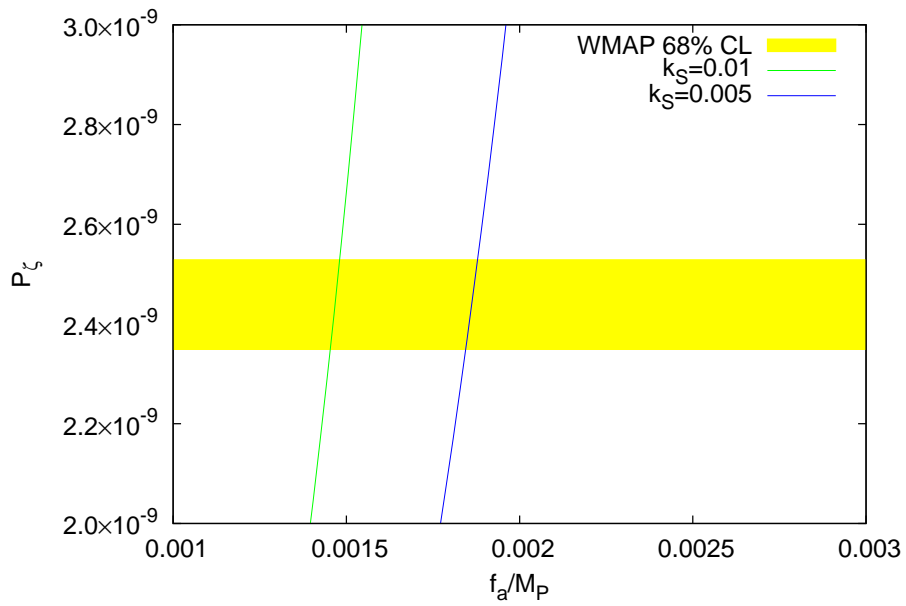


図2 曲率揺らぎの f_a , k_S 依存性と観測値との比較