

インフレーション中のスローロールパラメータの変化による CMB温度ゆらぎスペクトルへの影響

名古屋大学 理論天体物理学研究室 M1熊崎 亘平

reference

M. J. Mortonson, Cora Dvorkin, Hiranya V. Peiris, and Wayne Hu. Phys. Rev. D 79, 103519 (2009)

E. D. Stewart and D. H. Lyth. Phys. Lett. B 302 (1993), p. 171

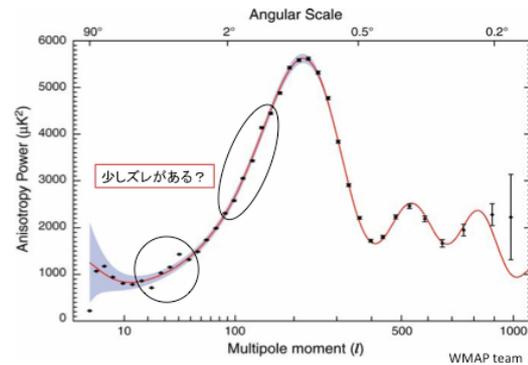
E. D. Stewart, Phys. Rev. D 65, 103508 (2002)

Introduction

今回の研究は、宇宙のごく初期にインフレーションと呼ばれる加速膨張が起きたという前提をもとに進めていく。加速膨張を引き起こすインフラトン ϕ がポテンシャル上をゆっくり転がれば(slow-roll)、十分なインフレーションが起き、量子ゆらぎがCMB温度ゆらぎや宇宙の大規模構造へと進化する。

Motivation

- ・観測的側面
近年の詳細なCMB温度ゆらぎの観測から、理論値とのずれが指摘されている。(右図)
- ・理論的側面
slow-rollが一時的に破れている場合に、上のような状況を説明できるか。



一時的にslow-rollが破れるモデルを考える。

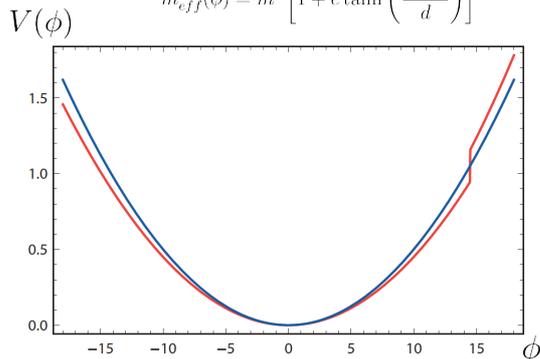
研究内容

今回使用するポテンシャル

$$\text{--- } V(\phi) = \frac{1}{2}m^2\phi^2$$

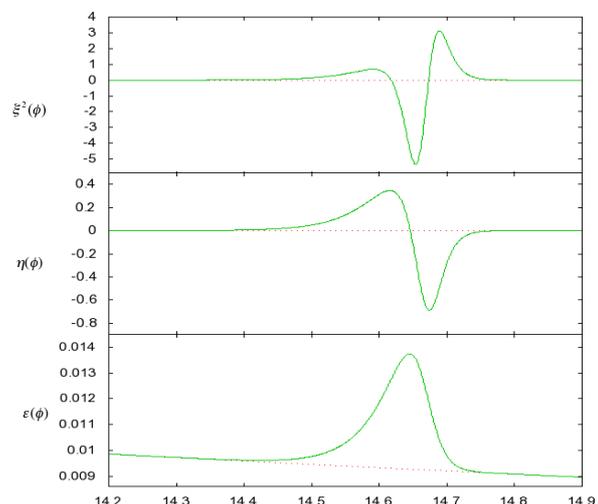
$$\text{--- } V(\phi) = \frac{1}{2}m_{eff}^2(\phi)\phi^2$$

$$m_{eff}^2(\phi) = m^2 \left[1 + c \tanh\left(\frac{\phi-b}{d}\right) \right]$$



Slow-roll parameters

$$\epsilon(\phi) = \frac{1}{2M_{pl}^2} \left(\frac{\dot{\phi}}{H} \right)^2 \quad \eta(\phi) = -\frac{\ddot{\phi}}{H\dot{\phi}} \quad \xi^2(\phi) = \frac{\dddot{\phi}}{H^2\dot{\phi}}$$



このポテンシャルを用いてゆらぎの発展方程式を計算し、power spectrumを求める

ゆらぎの発展方程式

$$\frac{d^2 u_k}{d\tau^2} + \left(k^2 - \frac{1}{z} \frac{d^2 z}{d\tau^2} \right) u_k = 0$$

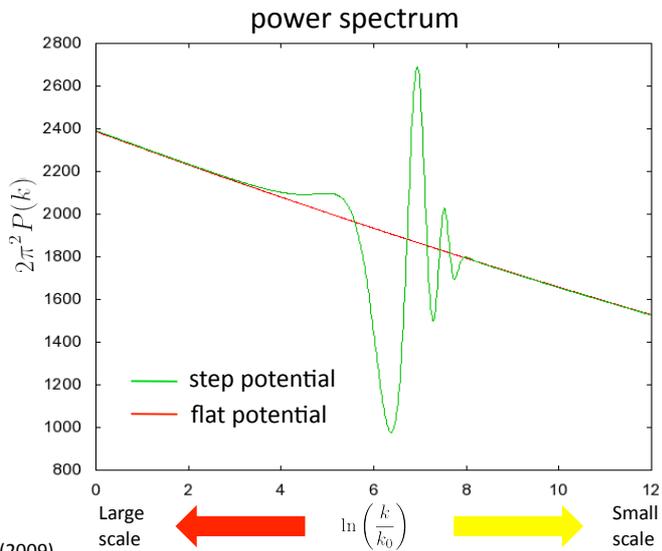
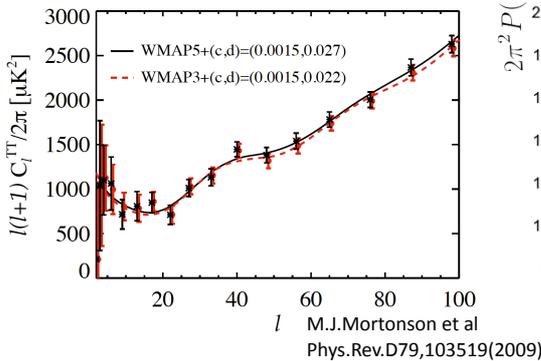
$$u_k = z R_k \quad z \equiv \frac{a\phi}{H} \quad d\tau = \frac{dt}{a(t)}$$

curvature perturbation

power spectrum

$$P(k) = \frac{k^3}{2\pi^2} \langle |R_k|^2 \rangle = \frac{k^3}{2\pi^2} \left| \frac{u_k}{z} \right|^2$$

CMB温度ゆらぎのスペクトルにも影響がでた



この振動がなぜ生じるか

2つの方法でゆらぎの発展方程式を解析的に解く。

Hankel関数を用いた表式

用いる近似

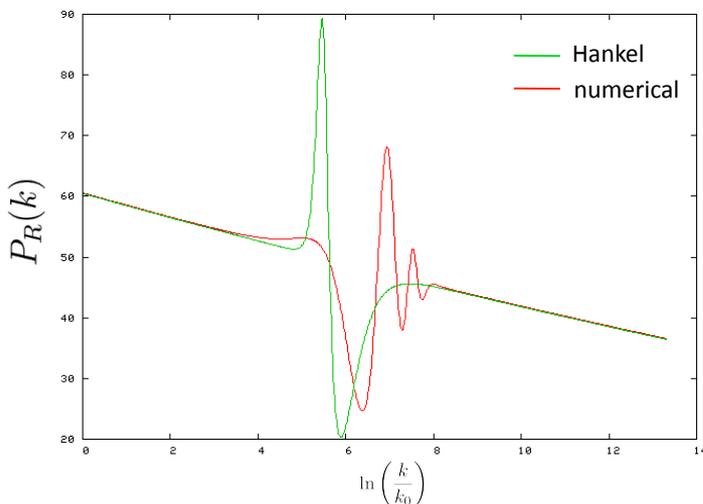
Slow-roll parametersの時間変化を無視

$$\frac{d^2 u_k}{d\tau^2} + \left(k^2 - \frac{1}{\tau} \left(\nu^2 - \frac{1}{4} \right) \right) u_k = 0$$

$$\nu = \frac{1 + \epsilon - \eta}{1 - \epsilon} + \frac{1}{2}$$



$$P(k) = \frac{k^3}{2\pi^2} \lim_{-k\eta \rightarrow 0} \left| \frac{u_k}{z} \right| = \frac{H^4}{4\pi^2 \dot{\phi}^2} 2^{2\nu-3} \left(\frac{\Gamma(\nu)}{\Gamma(\frac{3}{2})} \right)^2 (1 - \epsilon)^{2\nu-1}$$



近似が適当でなかったために、特徴的な振動は見られなかった。



slow-rollの時間変化が power spectrumの振動部を担っている？

Green関数法を用いた表式

$x = -k\tau$ $y = \sqrt{2k}u_k$ として変数変換

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \left(1 - \frac{2}{x^2}\right)y = \frac{1}{x^2}g(\ln x)y \quad g(\ln x) = \frac{f'' - 3f'}{f} \quad f = 2\pi \frac{\dot{\phi} a \tau}{H} = -2\pi \frac{x}{Hk}$$

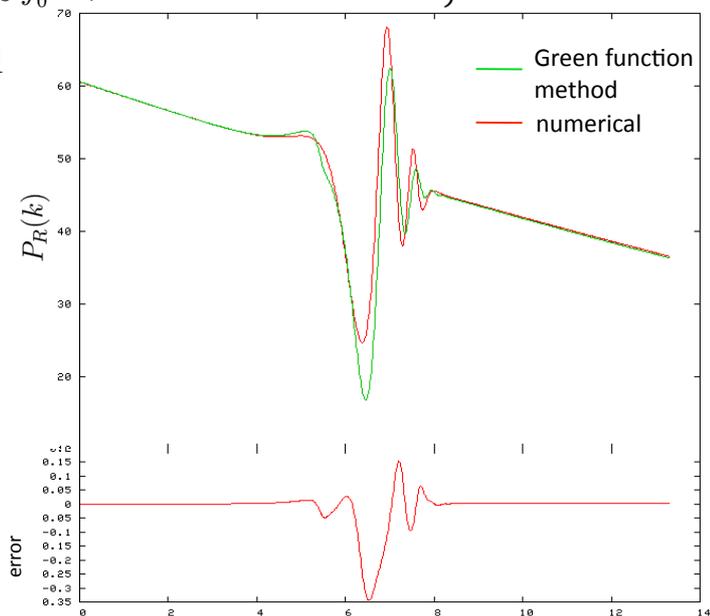
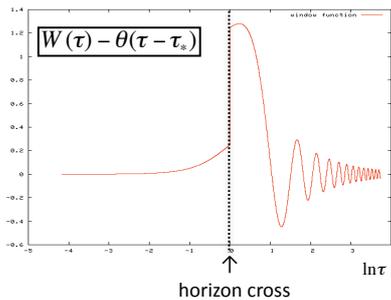
用いる近似

$g(\ln x)$ の高次を無視

$$P_R(k) = \left(\frac{k}{2\pi}\right)^2 \frac{1}{f_*^2} \left\{ 1 + \frac{2f'_*}{3f_*} + \frac{2}{3} \int_0^\infty \frac{d\tau}{\tau} (W(\tau) - \theta(\tau - \tau_*)) g(\ln \tau) \right\}$$

$$W(x) = \frac{3 \sin(2x)}{2x^3} - \frac{3 \cos(2x)}{x^2} - \frac{3 \sin(2x)}{2x}$$

$$\theta(x) = \begin{cases} 1 & (x < 0) \\ 0 & (x > 0) \end{cases}$$



Green関数法を用いれば、振動が見られた。
 この近似は妥当であることが分かった。
 さらに高次まで計算すれば、誤差5%くらいまで可能。

Dvorkin & Hu (2009)

Summary

- CMB温度ゆらぎの観測から、initial power spectrumの power lawからのずれが議論されている。
- slow-rollが一時的に破れるモデルを提唱し、そのモデルに制限を与えた。
- slow-rollが破れていると、確かにCMB温度ゆらぎにも影響がある。
- 振動するためには、slow-roll parameters が時間変化することが必要である。