

Gauge-Higgs-Inflaton Unification in $(4+n)D$ Super Y-M

水上史絵（中央大）

共同研究者： 稲見武夫、小山陽次（中央大）
林 青司（神戸大）

20. Dec. 2008 @ 理研

1. Inflation

- ・Inflationが起こるのは宇宙がvacuum energyで満たされているとき

fluid equation $\dot{\rho} + 3H(\rho + p) = 0$

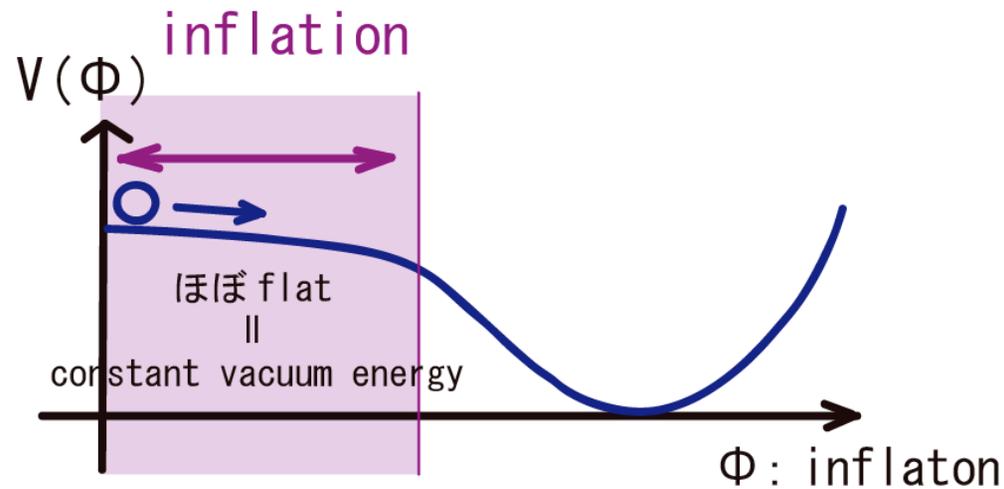
$$p = -\rho \quad (\text{負の圧力})$$

Friedmann equation $H^2 = \frac{\rho}{3M_P^2} - \frac{k}{a^2}$, $H \equiv \frac{\dot{a}}{a}$ (Hubble parameter)
 a : scale factor

$$\rho = 3M_P^2 H^2 \longrightarrow a \propto e^{Ht}$$

Raychaudhuri equation $\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{1}{6M_P^2}(\rho + 3p)$

$$\ddot{a} > 0 \quad (\text{加速膨張})$$



インフレーション中に宇宙を十分に膨張させるには、ポテンシャルがゆるやかになっているべき。

→ Slow-roll condition (& 十分なinflationの時間 : e-folds ~ 60)

$$\epsilon \equiv \frac{M_P^2}{2} \left(\frac{V'}{V} \right)^2 \ll 1, \quad \eta \equiv M_P^2 \left| \frac{V''}{V} \right| \ll 1$$

いろいろなinflation modelが考えられている...



Gauge-Higgs unificationでHiggsのポテンシャルはゆるやか。

2. Gauge-Higgs unification

Higher dimensional Y-M theory (extra dims are compactified).

Higgs = extra component of gauge field (M = 0 \cdots d-1)

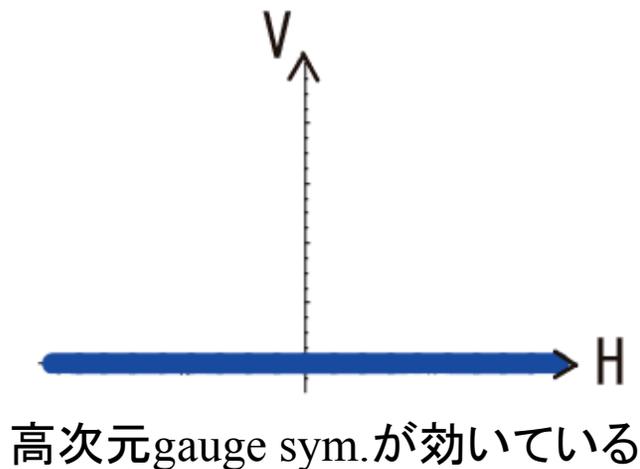
$$A_M = \begin{cases} A_\mu & : \text{gauge field in 4-dims.} & (\mu = 0 \cdots 3) \\ A_m & : \text{Higgses} & (m = 4 \cdots d-1) \end{cases}$$

高次元での gauge symmetry

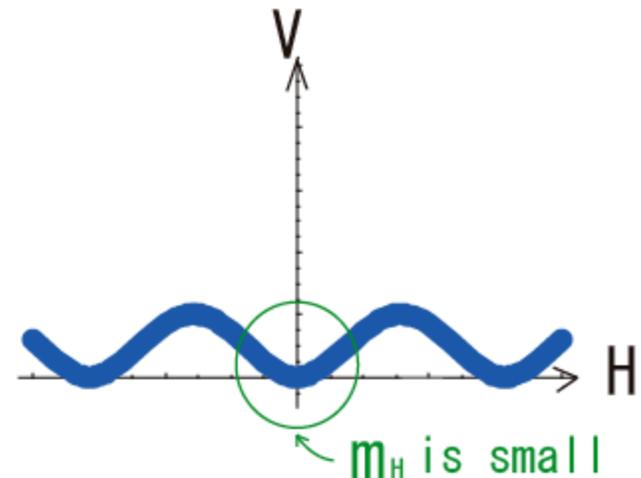


Higgsの質量の小ささを保証

5-dimensional pure Y-M theory (with S^1 compactification)



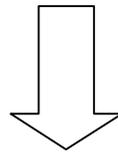
at 1-loop
→



3. Gauge-Higgs unification applied to inflation

Gauge-Higgs unificationはHiggs massのfine tuning問題を解決しうる。

$$m_H^2 = \left. \frac{V''}{\text{minimum}} \right| \longleftarrow \begin{array}{l} \text{loop correction} \\ \text{(finite and small)} \end{array}$$



$$\begin{cases} V' = \text{small} \\ V'' = \text{small} \end{cases}$$

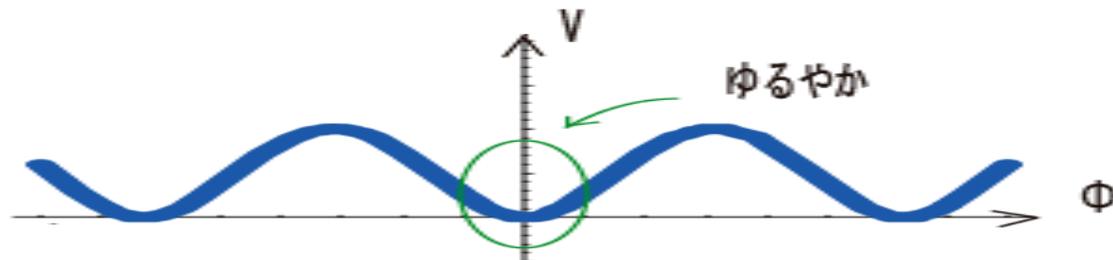
Slow-roll conditionを満たしうる。



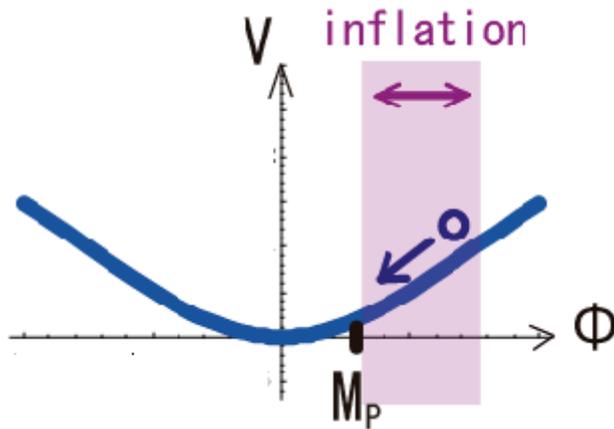
Gauge-Higgs unificationでの
Higgs massのfine tuning問題を解決する機構は、
inflation modelとしての素質も兼ね備えている。

Gauge-Higgs unificationのモデルでinflationを考える。

‘Extranatural inflation’ Arkani-Hamed, Cheng, Creminelli, Randall ’03
‘Gauge inflation’ Kaplan, Weiner ’03



~ Chaotic inflation model



Inflation中の Φ の値 $> M_P$
有効理論としておかしい・・・？

→ 高次元ゲージ対称性のおかげで
 $\phi > M_P$ において危険となる
高次の項は禁止されている。
よってポテンシャルの形は信じ
られる。



Idea

Higgs \simeq inflaton

と考え二つの問題を同時に解決しよう。

$$A_M \longrightarrow \begin{cases} A_\mu & : \text{gauge場} \\ A_m = \underline{\text{Higgs, H \& inflaton, } \phi} \end{cases}$$

宇宙はもともと高次元でsupersymmetricであったと考える。
(Superstringを念頭に置く)

→ Higher-dimensional SYM theoryを
4次元へコンパクト化したモデルを使う。

4. Inflation in 5- dim. Super Y-M theory

with S^1 compactification

Gauge multiplet (adjoint rep.)

A_M ... gauge

λ_L^i ... gaugino
(symplectic-Majorana spinor)

Σ ... real scalar

Hyper multiplet (fundamental rep.)

H_i ... scalar

Ψ ... Dirac fermion

Scherk-Schwarz mechanismによりSUSYを破る。

Twisted boundary condition

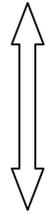
$$\begin{aligned} \lambda_L^i(x, y + L) &= e^{i\beta \cdot \sigma} \lambda_L^i(x, y) \\ H_i(x, y + L) &= e^{i\beta \cdot \sigma} H_i(x, y) \end{aligned} \quad \frac{\beta}{L} : \text{SUSYの破れのパラメーター}$$

twisted boundary condition

(5次元のgauge symmetryによるもの)

$$X(x, y + L) = U_g X(x, y) U_g^\dagger, \quad X = \text{gauge multiplet}$$

$$Y(x, y + L) = U_g Y(x, y), \quad Y = \text{hyper multiplet}$$



$$U_g = e^{i\theta \cdot T}, \quad \theta = \text{gauge trf. のパラメーター}$$

periodic b.c. & ゲージ場のextra componentのvev $\langle A_y \rangle = \theta/L$

$$\langle A_y \rangle = \frac{1}{L} \begin{pmatrix} \theta_1 & & 0 \\ & \dots & \\ 0 & & \theta_N \end{pmatrix} \quad \text{for SU(N) gauge symmetry}$$

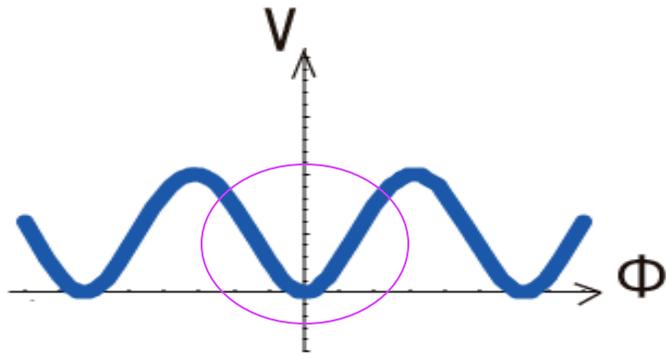
$$\text{inflaton} = \text{Higgs} = \phi \equiv f\theta$$

$f \equiv 2\pi gR$: spontaneous symmetry
breaking scale

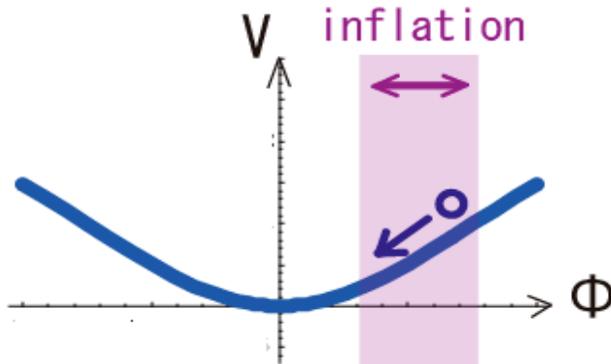
Effective potential (SU(2)gauge sym.の場合)

Pure SYM

$$V = \{1 - \cos(n\beta)\} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^N \left[-4 \frac{\Gamma(5/2)}{\pi^{5/2} L^4} \frac{1}{n^5} \cos(2n\theta) \right]$$

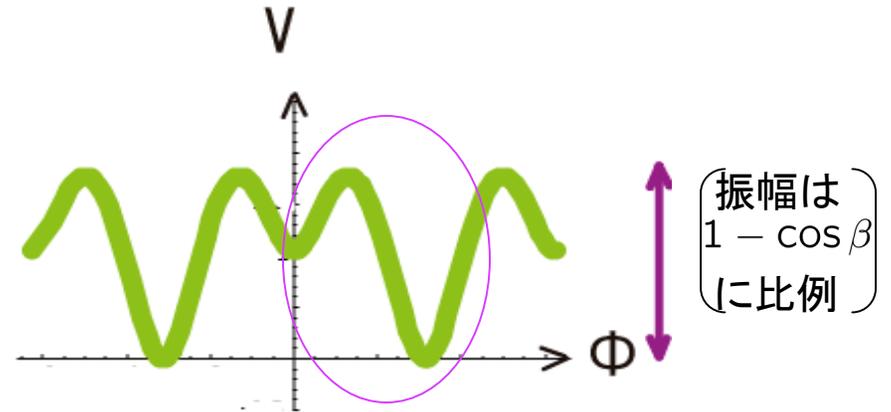


↓ 拡大

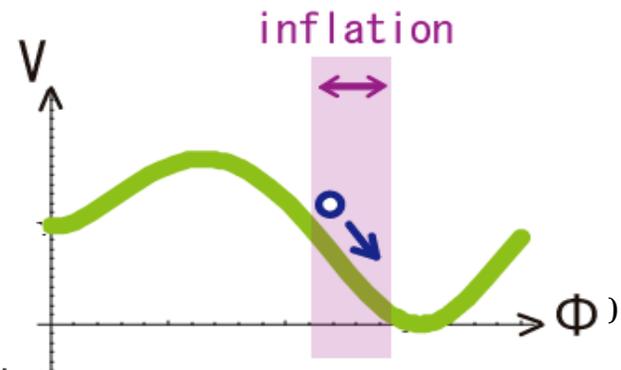


SYM with hypermultiplet

$$V = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^N \{1 - \cos(n\beta)\} \left[-4 \frac{\Gamma(5/2)}{\pi^{5/2} L^4} \frac{1}{n^5} \cos(2n\theta) + \sqrt{2} \frac{1}{\pi^{5/2} L^4} (nML)^{5/2} K_{5/2}(nML) \cos(n\theta) \right]$$



↓ 拡大



6. これからの課題

⑨ Higgsとinflatonの統一をする為に、

- ・宇宙の観測からの制限
- ・inflaton mass = Higgs mass

これら2つの制限を満たすようにパラメーターを決める。

→ $\left(\begin{array}{l} \cdot \frac{\beta}{L} \sim \text{SUSYの破れのスケール (electro-weak Higgsの場合)} \\ \cdot \text{Higgsと言っても、どのHiggsか? (electro-weak Higgs or GUT Higgs)} \end{array} \right)$

⑨ 今のmodelではgauge couplingが標準模型での値より小さくなりすぎてしまう。
(slow-roll condition & $\phi > M_P$ での量子重力補正を抑える為)

$$g_4 \lesssim 10^{-2}$$

解決法? →

Chaotic model以外のmodelにする
重力も取り入れた議論をする 等