Soft masses and μ－parameter from Dynamical Rearrangement

信州大学（理）三浦貴司

２０１１年1月２５日

@大阪大学「余剰次元物理2011」

Contents

1. Introduction
2. Scherk-Schwarz mech.
3. Local $SU(2)_R$ from 5D SUGRA
4. SUSY SM on $M^4 \times S^1/Z_2$
5. Conclusions

1.Introduction

SM や MSSM など低エネルギー理論におけるいくつかのトピックスの中で

- ✓soft ~~SUSY~~ masses
- ✓ μ -parameter

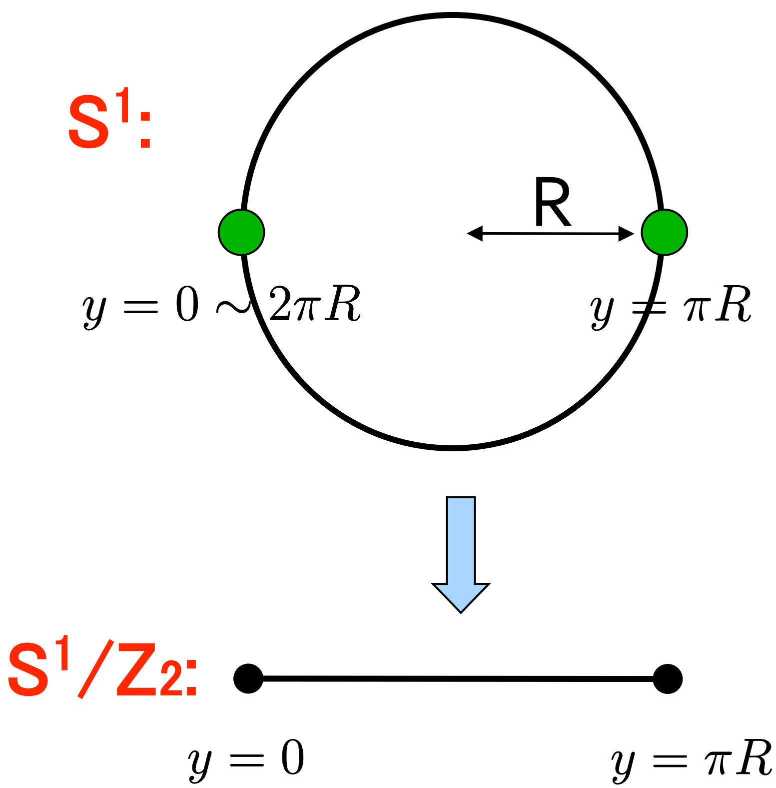
の２点について余剰次元をもつ理論の立場から議論する。

⇒余剰次元をもつ理論において、

- Dynamical Rearrangement
- Scherk-Schwarz mechanism
- 5D SUGRA

◎Orbifold S^1/Z_2 [1/2]

$$y \sim y + 2\pi R \sim -y$$



Bulk 場に対する要請

$$t : y \to y + 2\pi R \ (U),$$
$$s_0 : y \to -y \ (P_0),$$
$$s_1 : y \to -y + 2\pi R \ (P_1).$$

$$s_0^2 = s_1^2 = I \qquad s_1 = t s_0$$

$$P_0^2 = P_1^2 = I \qquad P_1 = U P_0$$

◎Orbifold S^1/Z_2 [2/2]

$$t: y \to y + 2\pi R\ (U),$$
$$s_0: y \to -y\ (P_0),$$
$$s_1: y \to -y + 2\pi R\ (P_1).$$

$$y \sim y + 2\pi R \sim -y$$

5次元でのLagrangian 密度に対する要請

☆一価性 → 場の境界条件(BC)

$$\mathcal{L}(\Phi(x,y)) = \mathcal{L}(\Phi(x,y+2\pi R)) = \mathcal{L}(\Phi(x,-y))$$

$$\mathcal{L}(\Phi(x,y)) = \mathcal{L}(g^{(\prime)}\Phi(x,y)) : g^{(\prime)} \in G$$
$$\Phi(x,y+2\pi R) = g\Phi(x,y),\ \Phi(x,-y) = g'\Phi(x,y).$$

☆ゲージ不変性

$$\mathcal{L}(\Phi(x,y)) = \mathcal{L}(\Phi'(x,y))$$

$$\Phi(x,y) \to \Phi'(x,y) = \Omega\Phi(x,y)$$

◎Dynamical Rearrangement

余剰次元方向のゲージ場が期待値 $\langle A_y \rangle$ をもつ場合

$$WU = \mathrm{P}\exp\left(ig\int_C A_y dy\right) U$$

$$\mathcal{L}(\Phi(x,y))\,|_{(\langle A_y\rangle, U)} = \mathcal{L}(\Phi'(x,y))\,|_{(\langle A'_y\rangle, U')}$$

$$V_{\mathrm{eff}}(\langle A_y\rangle, U) \overset{\mathrm{min.}}{=} V'_{\mathrm{eff}}(\langle A'_y\rangle, U')$$

$$\langle A_y\rangle \neq \langle A'_y\rangle$$

⇒真の真空はV_{eff}を最小にする $\langle A_y \rangle$ に存在する。

⇒BCやmass spectrum などの物理量が決まる！

Ref.:Hosotani(`83,`89);Haba,Harada,Hosotani and Kawamura(`03).

2.Scherk-Schwarz mech. [1/3]

Ref.:Pomarrol and Quiros (`98).

5D SUSY SM $M^4 \times S^1/Z_2$

$M = \mu, 5(= y).$

$a = 1, 2\ (u, d),$

$i = 1, 2\ (\mathrm{N} = 2\ \mathrm{SUSY}).$

Bulk fields

Geuge supermultiplet $(A_M, \lambda^i, \sigma),$

Two Higgs hypermultiplets $(H_i^a, \widetilde{H}^a),$

and the others are brane fields.

⇒以下の対称性を持つ。

$$\underbrace{SU(3)_c \times SU(2)_L \times U(1)_Y}_{\text{Gauge Symmetry}} \times \underbrace{SU(2)_R \times SU(2)_H}_{\text{Global Symmetry}}$$

Gauge Symmetry

Global Symmetry

R:R-symmetry

2.Scherk-Schwarz mech. [2/3]

Global SU(2)$_R$×SU(2)$_H$ の下で、

Geuginos $\lambda^i \in (\mathbf{2},\mathbf{1})$

Higgs bosons $H_i^a \in (\mathbf{2},\mathbf{2})$

Higgsinos $\widetilde{H}^a \in (\mathbf{1},\mathbf{2})$

$$\Phi(x,y+2\pi R) = g\Phi(x,y)$$
$$g \in SU(2)_R \times SU(2)_H$$

and the others are singlets.

（例）
$$\lambda^i(x,y+2\pi R) = e^{i\alpha\tau^2}\lambda^i(x,y),$$
$$H_i^a(x,y+2\pi R) = e^{i\beta\tau^2}H_i^a(x,y)e^{-i\alpha\tau^2},$$
$$\widetilde{H}^a(x,y+2\pi R) = e^{i\beta\tau^2}\widetilde{H}^a(x,y).$$

SU(2)$_R$ SU(2)$_H$

2.Scherk-Schwarz mech. [3/3]

（例） $\lambda^i(x,y+2\pi R) = e^{i\alpha\tau^2}\lambda^i(x,y),$

$H_i^a(x,y+2\pi R) = e^{i\beta\tau^2}H_i^a(x,y)e^{-i\alpha\tau^2},$

$\widetilde{H}^a(x,y+2\pi R) = e^{i\beta\tau^2}\widetilde{H}^a(x,y).$

Zero modes のLagrangian密度は、

$$\mathcal{L}_{\rm mass} = -\frac{\alpha}{2R}(\lambda_0^a\lambda_0^a + \mathrm{h.c.}) - \left(\frac{\alpha^2}{R^2}+\frac{\beta^2}{R^2}\right)(|H_u|^2+|H_d|^2) + \frac{2\alpha\beta}{R^2}(H_uH_d+\mathrm{h.c.}) - \frac{\beta}{R}(\widetilde{H}_u\widetilde{H}_d+\mathrm{h.c.}).$$

⇒μ-termやgeuginoとHiggsのsoft masses
はα/Rとβ/Rによって与えられる。

3. Local SU(2)$_R$ from 5D SUGRA [1/3]

Global SU(2)$_R$ をLocal SU(2)$_R$ にしてみてはどうだろうか？

SU(2)$_R$の下で

$$\lambda^i \ : \ \text{Doublet}$$

$$A_\mu \ : \ \text{Singlet}$$

⇒ SU(2)$_R$ はSUSYと直交しない!

Local SU(2)$_R$ ⇒ Local SUSY

⇒ SUGRA

3. Local SU(2)$_R$ from 5D SUGRA [2/3]

Ref.:Kugo and Ohashi (`00,`01),Fujita,Kugo and Ohashi (`01); Zucker (`00,`01).

5D SUGRA with local SU(2)$_R$

field	description	Z_2 parity even	odd
g_{MN}	gravition	$g_{\mu\nu}, g_{55}$	$g_{\mu 5}$
ψ_M	gravitino	$\psi^1_{\mu L}, \psi^2_{5L}$	$\psi^2_{\mu L}, \psi^1_{5L}$
B_M	graviphoton	B_μ	B_5
C_M	$SU(2)_R$ gauge field	$C^3_\mu, C^{1,2}_5$	$C^{1,2}_\mu, C^3_5$

運動項なし、補助場的

3. Local $SU(2)_R$ from 5D SUGRA [3/3]

Ref.:Gersdorff and Quiros (`02); Gersdorff, Quiros and Riotto (`02).

$SU(2)_R$ ゲージ場C_5はtree levelでは$\langle C_5 \rangle$の不定性により、flatな方向が存在してしまう。

cf.$\langle C_\mu \rangle$はローレンツ不変性の要請によりゼロにとる。

$$\langle C_5^2 \rangle \neq 0,$$
$$\Phi(x, y + 2\pi R) = \Phi(x, y).$$

同等

$$\langle C_5^2 \rangle = 0,$$
$$\Phi(x, y + 2\pi R) = e^{i\gamma}\Phi(x, y).$$

Hosotani mech.

Dynamical SS mech.

4. SUSY SM on $M^4 \times S^1/Z_2$ [1/4]

Gersdorff、Quiros、Riotto達の結果として γ=0,1/2のみが許される。
⇒gaugino massが1/2Rで与えられる。

今回、SUSY SMにおける超対称性の破れの可能性を探る。
⇒soft massesを導出しつつ、μ-para.をDynamicalに生成する可能性がある。

4.SUSY SM on $M^4 \times S^1/Z_2$ [2/4]

$SU(2)_R \times SU(2)_H$ の下で

Geuge $A_M, \sigma \in (\mathbf{1}, \mathbf{1})$

$\lambda^i \in (\mathbf{2}, \mathbf{1})$

Higgs $H_i^a \in (\mathbf{2}, \mathbf{2})$

$\widetilde{H}^a \in (\mathbf{1}, \mathbf{2})$

Squark / Slepton $\phi_i \in (\mathbf{2}, \mathbf{1})$

Quark / Lepton $\psi \in (\mathbf{1}, \mathbf{1})$

Z_2-parity

even	odd
$A_\mu, \lambda^1,$	$\sigma, A_5, \lambda^2,$
$H_1^1, H_2^2,$	$H_2^1, H_1^2,$
$\widetilde{H}_1^1, \widetilde{H}_2^2,$	$\widetilde{H}_2^1, \widetilde{H}_1^2,$
$\psi, \phi_1,$	$\psi', \phi_2.$
$C_{h\mu}^3, C_{h5}^{1,2},$	$C_{h\mu}^{1,2}, C_{h5}^3,$
$\sigma_h^{1,2},$	$\sigma_h^3,$
$\lambda_{h1}^3, \lambda_{h2}^{1,2},$	$\lambda_{h1}^{1,2}, \lambda_{h2}^3.$

⇒さらに、$SU(2)_H$ も
ゲージ化させる。

4. SUSY SM on $M^4 \times S^1/Z_2$ [3/4]

C_{h5}^2、C_5^2におけるone-loop の有効ポテンシャルを考える。

$$C \equiv \frac{3}{64\pi^6 R^4}$$

$$V_{\rm eff}^{\rm 4D}[\gamma] = 2C\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^5}I[\beta,\gamma] + (\beta,\gamma\text{–independent terms}),$$

$$SU(2)_H : \beta = R\langle C_{h5}^2\rangle, SU(2)_R : \gamma = R\langle C_5^2\rangle.$$

⇒$V_{\rm eff}$は$\beta \neq 0$、$\gamma \neq 0$に最小値をもつはず。

(例) $G_{SM}\times SU(2)_R\times SU(2)_H$

→ $G_{SM}\times U(1)_R\times U(1)_H$

⇒最も単純な模型では残念ながらSUSYは破れていない!!

4.SUSY SM on $M^4 \times S^1/Z_2$ [4/4]

[解決策]

　1つの方法として、いくつかのvecter multipletsを導入することで超対称性の破れを起こすことが出来る。

⇒soft massesやμ-para.をDynamicalに生成する可能性がある!

⇒ただし、soft massesやμ-para.はβ/Rやγ/Rの形で表れるが、βやγを小さな値にすることは難しい。

5.Conclusion

- DynamicalにScherk-Schwarz mech.を導出する機構をSUSY SMに拡張した。
- $SU(2)_R$がSUSYと直交していないためにloop levelの寄与から、$V_{eff} \neq 0$。
- そのため、tree levelでSUSYを保つBCの下でもSUSYを破ることが可能である。
- その結果、模型を特定すればsoft massとμ-para.を一意的にDynamicalに導出できる可能性が残っている。

➢現実的な模型の構築。
➢現象論的な解析。

Thank you for your attention!

(例) $G \times SU(2)_R \times SU(2)_H$