

Supersymmetric Extension of the Standard Model with an Extra Gauge Symmetry

お茶の水女子大学 青木 真由美

標準模型に超対称性を施すと、新たにバリオン数やレプトン数を破る相互作用が許され、陽子の寿命が非常に短くなるという問題が生じる。これを回避するため、超対称性模型では、新たな不連続対称性が課されることが多い。一方、標準模型では、陽子崩壊を引き起こす相互作用は、ゲージ不変性と繰り込み可能性によって禁止されている。そこで、我々は、超対称性模型においても余分な対称性を課すことなしに、ゲージ不変性と繰り込み可能性の要求のみで陽子崩壊が禁止される可能性について考え、そのような模型の一つとして、新たな $U(1)$ ゲージ対称性をもつ $N = 1$ 超重力に基づく超対称性模型を提案した。さらに、 μ 問題やニュートリノの質量問題についても同時にその解決を目指した。

模型の粒子構成を表 1 に示す。最小超対称性標準模型と比較すると、 H_1 、 H_2 の世代数が増え、新粒子 N^c 、 S 、 K 、 K^c が加わるという拡張がなされている。スーパーポテンシャルは、繰り込み可能な項によって以下のように与えられる。

$$W = \eta_d^{ijk} H_1^i Q^j D^{ck} + \eta_u^{ijk} H_2^i Q^j U^{ck} + \eta_e^{ijk} H_1^i L^j E^{ck} + \eta_\nu^{ijk} H_2^i L^j N^{ck} \\ + \lambda_N^{ijk} S^i N^{cj} N^{ck} + \lambda_H^{ijk} S^i H_1^j H_2^k + \lambda_K^{ijk} S^i K^j K^{ck}$$

標準模型を超対称性化した際に許された陽子崩壊を引き起こす相互作用は、 $U(1)$ ゲージ対称性によって禁止されており、さらに dimension 5 のバリオン数を破る相互作用も禁止されることから、陽子は十分安定であると言えよう。 S^i が真空期待値をもつと、 $S^i N^{cj} N^{ck}$ 、 $S^i H_1^j H_2^k$ から、それぞれニュートリノのマヨラナ質量と有効 μ パラメータが生成される。

$SU(2) \times U(1) \times U'(1)$ ゲージ対称性は、 H_1^i 、 H_2^i 、 S^i ボソンが真空期待値を持つことによって自発的に破られる。真空構造を解析した結果、尤もらしい真空を与えるパラメータ値の一例を、表 2、3 に示す。簡単化のため、ここでは各一世代のみが真空期待値を持つと仮定した。また、新たな中性ゲージボソン (Z') に課せられる実験からの制限を考慮し、スカラーポテンシャルに含まれる質量スケールを 1 TeV 程度とした。ただし、ヒッグスボソン H_2 、 S の質量は、大きな結合定数をもつ項 $H_2 Q^3 U^{c3}$ 、 $S K^j K^{ck}$ により、それぞれ大きな量子補正を受けると考えられるため、小さな値が与えられている。

得られる有効 μ パラメータの大きさ、 $|\mu| = \lambda_H v_s / \sqrt{2}$ は、電弱スケールの大きさとなり、一方、ニュートリノは、大きなマヨラナ質量を得るため、シーソー機構によって十分軽い質量が与えられる。このような陽子が安定な模型において、スカラーポテンシャルの典型的な質量スケールを 1 TeV 程度とすると、過度の fine-tuning を必要とせず、実験に矛盾しない質量スペクトルを与えるゲージ対称性の破れが実現されることが示せた。

表 1: 構成粒子と量子数

	SU(3)	SU(2)	U(1)	U'(1)
Q^i	3	2	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{12}$
U^{ci}	3^*	1	$-\frac{2}{3}$	$\frac{1}{12}$
D^{ci}	3^*	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{7}{12}$
L^i	1	2	$-\frac{1}{2}$	$\frac{7}{12}$
N^{ci}	1	1	0	$-\frac{5}{12}$
E^{ci}	1	1	1	$\frac{1}{12}$
H_1^i	1	2	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{2}{3}$
H_2^i	1	2	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{6}$
S^i	1	1	0	$\frac{5}{6}$
K^i	3	1	$\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$
K^{ci}	3^*	1	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{6}$

i ; 世代

表 2: スカラーポテンシャルに含まれるパラメータ

g'	$ \lambda_H $	$ B_H m_{3/2} $	$M_{H_1}^2$	$M_{H_2}^2$	M_S^2
0.36	0.10	1.0 TeV	$(1.2 \text{ TeV})^2$	$(0.29 \text{ TeV})^2$	$-(0.71 \text{ TeV})^2$

g' ; $U'(1)$ ゲージ結合定数 B_H ; 無次元定数 $m_{3/2}$; グラビティノー質量
 M_{H_1}, M_{H_2}, M_S ; H_1, H_2, S ボソン質量

表 3: 真空期待値と質量

v_2/v_1	v_s	M_{Z_2}	R
5.0	3.4 TeV	1.0 TeV	1.4×10^{-4}
M_{H^0}	M_{A^0}	M_{H^\pm}	
85 GeV	1.0 TeV	1.1 TeV	1.1 TeV

v_1, v_2, v_s ; H_1, H_2, S ボソン真空期待値 M_{Z_2} ; 重い Z ボソン質量
 R ; Z ボソンと Z' ボソンとの混合の大きさを表すパラメータ
 $M_{H^0}, M_{A^0}, M_{H^\pm}$; 中性スカラー、中性擬スカラー、荷電ヒッグスボソンの質量

詳しい内容につきましては、以下をご覧ください。

A Supersymmetric Model with an Extra U(1) Gauge Symmetry
 (M. Aoki and N. Oshimo), hep-ph/9907481