

Higgs mechanism without Higgs potential in an extra dimension[†]

神戸大学 藤本教寛

E-mail: 093s121s@stu.kobe-u.ac.jp

標準模型は今日まで大変な成功を収めてきたが、対称性の破れの起源は今尚謎のままである。標準模型ではヒッグス粒子に自発的対称性の破れを引き起こさせるために、負の 2 乗質量項を手で用意してやる必要があった。今回我々は高次元ゲージ理論の枠組みにおいて、点状相互作用を持つ 1 次元量子力学系の研究 [1]-[3] を応用し、余剰次元方向に一般的な境界条件を考察することによって、状況によってはバルクの作用に負の 2 乗質量項を導入することなしに自発的対称性の破れが起こせることを見出した。 $M^2 > 0$ の 5 次元複素スカラー場の作用が次で与えられる場合、

$$S = \int d^4x \int_0^L dy \left[\Phi^*(x, y) (\partial^\mu \partial_\mu + \partial_y^2 - M^2) \Phi(x, y) - \frac{\lambda}{2} (\Phi^*(x, y) \Phi(x, y))^2 \right], \quad (1)$$

余剰次元方向に許される一般的な境界条件は次のように与えられる。

$$\begin{cases} \Phi(x, 0) + L_+ \partial_y \Phi(x, 0) = 0, \\ \Phi(x, L) - L_- \partial_y \Phi(x, L) = 0. \end{cases} \quad (-\infty \leq L_\pm \leq +\infty) \quad (2)$$

この一般的な境界条件のもとでは、Kaluza-Klein(KK) 粒子の質量スペクトラムに負の 2 乗質量モードが存在し得ることが、4 次元のポテンシャルを質量固有状態に書き直すことで見て取れる。

$$\begin{aligned} V_{4d} &= \int_0^L dy \left[\Phi^*(x, y) (-\partial_y^2 + M^2) \Phi(x, y) + \frac{\lambda}{2} (\Phi^*(x, y) \Phi(x, y))^2 \right] \\ &= \sum_n (E_n + M^2) |\varphi_n(x)|^2 + (\text{quartic term}) \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 E_n は非自明な境界条件を持ったエルミート演算子 $(-\partial_y^2)$ の固有関数

$$-\partial_y^2 f_n(y) = E_n f_n(y), \quad \begin{cases} f_n(0) + L_+ \partial_y f_n(0) = 0, \\ f_n(L) - L_- \partial_y f_n(L) = 0. \end{cases} \quad (4)$$

の固有値であり、今の場合一般的な境界条件に起因する束縛状態に由来して、負の値が存在し得る。つまり状況によっては

$$E_B + M^2 < 0, \quad (5)$$

となつて KK 粒子の質量スペクトラムに負の 2 乗質量モードが存在し、これにより負の 2 乗質量項を導入する必要なしに自発的対称性の破れを実現することができる。また、我々のこの機構には、余剰次元の半径や境界条件を指定するパラメータなどに依存した豊富な相構造が存在する。

Reference

- [1] M.Reed, B.Simon, Methods of Modern Mathematical Physics, vol. II, Academic Press, New York, 1980.
- [2] P.Šeba, Czech. J.Phys. 36(1986)667.
- [3] S.Albeverio, F.Gesztesy, R.Høegh-Krohn, H.Holden, Solvable Models in Quantum Mechanics, Springer, New York, 1988.

[†]この発表は、苫小牧高専の長澤智明氏、ハリス・チャンドラ研究所の大谷聡氏、神戸大学の坂本真人氏との共同研究 arXiv:1108.1976 に基づく。