

Gravity-Gauge-Higgs Unification にむけて

理研理論物理 丸 信人

E-mail: maru@riken.jp

ゲージ階層性を解決するアプローチの1つに Gauge-Higgs unification シナリオがあります。このシナリオでは、ヒッグス場がゲージ場の余次元成分に同一視されます。特に S^1 にコンパクト化された5次元 QED では、ヒッグス場の質量項に対する1ループ量子補正が有限になることが知られています。

本講演では、Gauge-Higgs unification シナリオに触発されて、Gravity-Gauge-Higgs unification シナリオの枠組みでゲージ階層性問題を解決する可能性を議論しました。典型的なモデルとして S^1 にコンパクト化されたバルクスカラー場と結合する5次元重力理論を用いて、計量テンソルの余次元方向成分(55成分)から生成されるヒッグス場の質量項に対する1ループ量子補正を陽に計算しました。まず、ファインマン・ダイアグラムの計算において、2次発散が相殺する機構を明らかにしました。5次元一般座標変換不変性を保つためには、ループの中を回るすべてのカルツァークライン・モード(KKモード)を足しあげることが重要で、そうすることによってのみ(非局所的な)有限質量が得られることがわかりました。これは、 S^1 にコンパクト化された5次元 QED で、5次元ゲージ対称性を保つためにループを回るすべての KK モードをすべて足し合わせないと有限質量が生成されなかったことと完全に対応しています。ただ計算の過程において非自明なのは、素朴に考えるとヒッグス質量項に効かないと思われる真空泡グラフと tadpole ダイアグラムの寄与を考慮しないと有限質量が得られないことです。具体的な計算では、簡単のためバルクスカラー場からの1ループ量子効果を計算しました。グラヴィトンやゲージ場など他のスピンを持つ場からの量子効果は、バルクスカラー場からの結果に物理的な偏極自由度を掛けるだけで得られるので、フェルミオン場も含め、一般の場合のヒッグス場の質量に対する1ループ補正公式を与えました。また以上の計算を、有効ポテンシャルを用いて体系的に計算し、ダイアグラムによる計算が正しいことをチェックしました。

Gauge-Higgs unification シナリオでは、ヒッグス場の有限質量は Wilson loop が生成されたものと理解することができましたが、Gravity-Gauge-Higgs unification シナリオにおける有限質量も同様の理解ができるかどうかは、自明ではありません。Wilson loop の素朴な対応は、計量テンソルの55成分の線積分ではなく、クリストッフエル・シンボルの線積分であり、その物理的意味は今のところ明らかではありません。

このシナリオでの現実的なモデルの構築は、これからの課題です。
詳細は、以下の文献とその中の参考文献を参照してください。

「An Attempt to Solve the Hierarchy Problem
Based on Gravity-Gauge-Higgs Unification Scenario」
K. Hasegawa, C.S. Lim and Nobuhito Maru, hep-ph/0408028.