

学位申請論文公開講演会

日時：2023年2月1日(水) 9:00~

申請者：山田 篤幸 (E研)

場所：物理会議室 (C207) およびオンライン

題目：ゲージ・ヒッグス統合模型における

ヒッグス・ポテンシャルの有限性とその予想に対する反証

主論文の要旨

素粒子物理学における標準理論(SM)はおよそ100GeVのエネルギー・スケールまでの物理現象を正確に説明および予言し、成功を収めている。素粒子は4次元ミンコフスキー時空 M^4 上の局所的な場として記述され、素粒子間の相互作用はゲージ原理からラグランジアン密度の対称性(ゲージ対称性)によって規定される。ただし、ゲージ対称性は同時に、フェルミオンおよび力の媒介粒子であるゲージ・ボソンが質量をもつことを禁止し、このことは現在の宇宙において種々の粒子が非零の質量を持っているという事実と反する。SMではヒッグス・ボソンを導入してこの問題を解決している。すなわちヒッグス・ボソンが非零の真空期待値を持つことによって系の対称性が自発的に破れ、対称性により禁止されていた質量項は許されるようになる(ヒッグス機構)。ヒッグス・ボソンは2012年に実験で発見されている。しかしながら、ヒッグス・ボソンの相互作用にはゲージ原理のような基本原理が欠落している。フェルミオンとの相互作用はヒッグス機構による質量生成のためだけに導入される。

ゲージ・ヒッグス統合模型(GHU)はヒッグス・ボソンの相互作用をゲージ原理から説明する、SMを超える模型の1つである。GHUは4次元よりも高い次元の時空上で定義され、そこではヒッグス・ボソンはゲージ・ボソンの余剰次元成分として導入される。よって、ヒッグス・ボソンとの相互作用はゲージ原理で与えられる。一方で、ヒッグス・ボソンはゲージ対称性によりツリー・レベルでポテンシャル(ヒッグス・ポテンシャル)を持たず、このレベルではSMのときのような非零の真空期待値を持たない。しかし、ヒッグス・ポテンシャルは量子補正によって生成され、ヒッグス・ボソンは非零の真空期待値を得て対称性の破れが起き、素粒子が質量を獲得する(細谷機構)。

GHUにおけるヒッグス・ポテンシャルは実際に摂動計算されてきた。このとき、1ループ・レベルでの結果が有限であると分かり、その後、GHUにおいてヒッグス・ポテンシャルは全ての摂動の次数で有限になると予想された。さらにその後には、2ループ・レベルでヒッグス・ポテンシャルが計算され、やはり有限であった。ただし、計算の複雑さから、2ループ・レベルでの計算はアーベリアン・ゲージ理論での計算を最後にして、非可換ゲージ理論で計算されていなかった。

本博士論文では、この困難を克服しながら非可換ゲージ理論でヒッグス・ポテンシャルを2ループ・レベルまで計算した。このとき我々は「重ね合わせコンパクト化」という手法を用いる。この方法では、余剰次元である円周(S^1)への異なる巻き付き数を持つ場の重ね合わせとしてループ積分を計算する。これにより、離散化された運動量に関する和を連続的な運動量変数の積分として計算できる。

SU(N)ゲージ理論で量子補正を計算し、我々は $M^4 \times S^1$ 時空上のGHUにおいて2ループ・レベルまでヒッグス・ポテンシャルが有限であることを示した。この結果は先行研究の結果が非可換ゲージ理論でも成り立つことを表し、発散による不定性が2ループ・レベルまでは物理量に現れないことになる。さらに、 $M^4 \times S^1$ 時空上のアーベリアンGHUにおいて、4ループ・レベルでヒッグス・ポテンシャルが対数で発散することを示した。この結果は上述の予想と異なり、物理量には少なくともカット・オフの対数で不定性が現れる。

オンライン参加の問い合わせ先：久野純治 hisano@eken.phys.nagoya-u.ac.jp

コロナ感染拡大で急遽オンラインのみでの開催に変更する可能性があります。

公聴会への参加を希望される方は主査に事前にご連絡ください。