

学位論文の審査結果の要旨

Higgs ポテンシャルへの重力の量子補正とその影響

素粒子の標準模型は 2012 年に LHC でヒッグス粒子が発見されたことによりひとつの完成を見た。しかし、標準模型は現在実験で到達できるエネルギーまでの物理をよく記述できる有効理論に過ぎず、高エネルギーでは標準模型を超えた新たな理論体系が必要になると考えられている。ここで、新物理の影響がどのエネルギースケールで現れて来るかが問題となる。標準模型の 2 ループまでの計算では、プランクスケール付近までヒッグスポテンシャルが安定であり、そのスケールまで標準模型が正しい可能性が指摘されている。しかし、プランクスケール付近では重力の量子効果が無視できなくなるため、重力の効果を取り入れなければプランクスケールでのヒッグスポテンシャルの安定性を議論することはできない。

この論文では、紫外カットオフを導入して重力の量子効果によるヒッグスポテンシャルに対する補正を計算し、プランクスケール付近でのヒッグスポテンシャルの振る舞いを議論している。通常のアインシュタイン重力は摂動的には繰り込み不可能であるため量子補正のカットオフ依存性を取り除くことはできないが、ヒッグス場の 8 乗までに制限する近似のもとでポテンシャルが安定であることを示している。標準模型のループ効果によりヒッグス場の 4 乗の係数はあるエネルギーで負になってしまうが、重力の量子効果によって生成されるヒッグス場の 8 乗の項の係数が正であるため、プランクスケール付近でもポテンシャルが安定になっていることが示されている。

さらに、アインシュタイン重力における量子補正のカットオフ依存性の問題を回避するひとつの方向性として、曲率テンソルの 2 乗を含むラグランジアンで与えられる所謂 R² 乗重力についても解析を行っている。この理論では、高階微分の効果によりループ積分の発散が軽減されるため、少なくとも 1 ループのレベルではヒッグスポテンシャルに対する重力の量子補正が有限に計算できることを具体的な計算により確かめている。

また、重力の量子効果の宇宙論への応用の可能性についても研究を行っている。宇宙背景放射の精密な衛星観測により、宇宙は加速膨張していることが明らかになっているが、観測値を説明する宇宙定数の値は素粒子論の典型的なスケールに比べて非常に小さいという問題がある。特に、宇宙項に場のゼロ点エネルギーが寄与していると考ええると、素朴には非常に大きな値になってしまう観測を説明できないという問題が生じる。この宇宙項問題は有効理論の範囲内では解決することが困難であり、高エネルギーでの重力の量子論について大胆な仮説が必要になる可能性がある。この論文では、通常物質場のゼロ点エネルギーは宇宙項に寄与せず、重力子の内線のループから来る補正のみが低エネルギーの有効理論で見たときの宇宙項として現れるという仮説に基づき、宇宙膨張を引き起こすインフラトン場のエネルギースケールが TeV スケールであれば、観測値から決まる宇宙項の大きさと矛盾しないことを議論している。TeV スケールは超対称性からも期待される新物理のエネルギースケールであり、それが重力の量子補正を通じて宇宙項問題と関連するという議論は非常に興味深い。

この博士論文は学術雑誌に掲載された 2 編の論文に基づいている。通常論文博士の場合、論文が 3 編必要であるが、退学後 1 年以内は「課程博士」のめやすが適用されるため、学位審査の基準は満たしている。以上により、学位に値すると審査委員会として判断した。

公表主要論文名

- Yugo Abe, Masaatsu Horikoshi, Takeo Inami,
Gravity loop corrections to the standard model Higgs in Einstein gravity,
Communications in Physics, Vol.26, No.3 (2016), pp.229-240.
- Yugo Abe, Masaatsu Horikoshi, Yoshiharu Kawamura,
Dark energy from gravitational corrections,
International Journal of Modern Physics A, Vol.32, Nos.6&7 (2017) 1750037.