

論文要旨

学位論文題目「Randall-Sundrum模型におけるラディオンの現象論的研究」

氏名：大野 慶子

素粒子は物質の最小構成単位であり、その振る舞いを記述する模型は「標準模型」と呼ばれている。この模型は現在のところ様々な実験とほぼ無矛盾であるということが知られている。一方、この世界には標準模型の基本的なスケールである電弱スケール $M_{EW} \sim 10^2 \text{ GeV}$ と、重力を特徴づけるスケールであるプランクスケール $M_{pl} \sim 10^{19} \text{ GeV}$ が共存している。電弱スケールを特徴づけるのはヒッグス粒子の質量 m_h であるが、標準模型でヒッグス粒子の質量の二乗 m_h^2 への量子補正を計算するとプランクスケールだけが自然なスケールになってしまい、二つのスケールの階層性を量子論のレベルで安定に保てない、という問題を抱えている。この問題は「ゲージ階層性問題」と呼ばれている。また、標準模型は重力を基本相互作用として取り扱っていない。従って、重力を含み、かつこの問題を解決するには標準模型を越えた新しい模型が必要である。その有力候補の一つに湾曲した余剰次元を導入し、この問題を解決するRandall-Sundrum (RS) 模型がある。

そこで、本研究ではRS模型の帰結として現れるスカラー粒子であるラディオンについて注目した。標準模型粒子とラディオンの相互作用はラディオンの質量 m_ϕ とスケールパラメータ Λ_ϕ で特徴づけられる。本研究では特にコライダー実験によるラディオンの生成及び崩壊を研究し、RS模型の検証を行った。

まず、2008 年からスイス・ジュネーブで稼働している大型ハドロン衝突型加速器 (Large Hadron Collider, LHC) でのラディオン生成可能性を調べた。ラディオンと同じスカラー粒子であるヒッグス粒子の探索実験の結果を用いて、標準模型とラディオンの相互作用を特徴付けるパラメータ (m_ϕ, Λ_ϕ) に対して制限を付けた。その結果、LHC実験では重いラディオン

$150 \text{ GeV} \lesssim m_\phi \lesssim 1000 \text{ GeV}$ については $\Lambda_\phi = 2 \text{ TeV}$ を排除するという、先行研究より強い制限が得られたがラディオンの質量が $m_\phi \lesssim 150 \text{ GeV}$ の軽い領域に関してはほとんど感度がないことが分かった。これは、ラディオンと質量の無いゲージ場 (グルーオン、フォトン) が相互作用する際に生じるトレースアノマリーという特徴的な効果が原因となっている。また、グラビトンとラディオンのパラメータは関係性があるため、グラビトンの探索実験からラディオンのパラメータに制限が付けられる。結果、 $k/M_{pl} = 0.1$ のとき $\Lambda_\phi \geq 17.14 \text{ TeV}$ 、 $k/M_{pl} = 0.2$ のとき $\Lambda_\phi \geq 9.75 \text{ TeV}$ という制限が付けられた。

次に、LHC実験において、トレースアノマリーの効果によって制限が十分に付けられなかったラディオンの質量の軽い領域 $m_\phi \lesssim 150 \text{ GeV}$ に関して、フォトン-フォトン衝突を想定して調べた。フォトンとフォトンとを衝突させる加速器、つまりフォトンコライダーは次世代の電子-陽電子コライダーとして建設が期待されている国際リニアコライダー (International Linear Collider、ILC) のオプションとして実装予定である。その結果、フォトンコライダーにおいてラディオンのグルーオン対へ崩壊する過程に注目すれば、ILCで期待されているいかなる重心系エネルギーであっても $m_\phi \lesssim 150 \text{ GeV}$ の軽いラディオンの対して $\Lambda_\phi \sim 3 \text{ TeV}$ まで探索可能であるということが分かった。

以上より、本研究では標準模型を越える模型であるRS模型の帰結として現れるラディオンの現時点でのコライダー実験における発見可能性と、次世代のコライダー実験における発見可能性を検証し、十分な統計有意性でラディオンの発見されるパラメータ領域を明らかにした。