

論文審査の結果の要旨

氏名 吉永尊洸

本論文は5章からなる。第1章はイントロダクションであり、本論文で行った解析についての大まかな説明、および論文の構成についての説明を行っている。続く、第2章と第3章は本論文の解析を理解するための理論的背景をレビューしている。第4章が本論文の主要な内容であり、第5章は本論文で行われた解析のまとめを与えている。

この論文の主題は、ミューオンの異常磁気モーメントについて、理論値と実験での測定値の 3σ 程度のくいちがいを説明し、かつ実験で検証可能な超対称標準模型(MSSM)を提案することである。MSSMには多くの粒子、パラメータがあるがビーノとスレプトンのみが軽く(数100 GeV程度)、そのほかの超対称粒子は重い(数TeV程度)という「最小の」設定と、真空の安定性条件などを組み合わせることによりLHC実験やILC実験などで実際に検証可能な模型が現れることを示している。

このような主張を導くため、本論文の第2章では、この論文で扱われる物理現象の説明がなされている。まず、2.1節ではElectromagnetic Dipole moment (EDM)について、それがどのように場の理論で評価されるのか具体的な表式をあたえている。2.2節ではミューオン異常磁気モーメントの基本公式、QED計算、弱い相互作用と強い相互作用による計算の現状と理論値のまとめ、更に実験値の現状と将来計画のまとめが書かれており、現在 3σ ある理論と実験の食い違いが将来より精度よく測られるであろうことが述べられている。この食い違いを新しい理論を用いて説明しようとする、現在行われている他の実験と矛盾を起すようになる。その例としてこの論文で取り上げられているLepton Flavor Violation(LFV)とEDMの標準模型における理論的な取り扱いと実験で得られている値がそれぞれ2.3節と2.4節で説明されている。標準模型においてはこれらの現象は非常に小さいことが理論的に予言されているが、標準模型を超えた理論体系においてはこれらの値を小さくすることは一般的には難しい。一方、実験的にはこれらの現象は見つかっておらず小さな上限値が与えられている。2.5節では現在LHC実験で観測されているHiggs粒子の2光子崩壊の測定について、標準模型との合致が検証されつつあることがレビューされている。標準模型を超える体系ではこの崩壊過程にも補正が加わる。

第3章は本論文で用いるMSSMの詳しいレビューがなされている。まず、3.1節で超対称性を導入する動機づけとしてヒエラルキー問題が取り上げられている。3.2節ではMSSMに現れる超対称粒子、superpotential、超対称性をソフトに破る項が導入され、同時に理論に現れるパラメータの定義がなされている。3.3節ではMSSMの中でミューオン異常磁気モーメントに寄与する相互作用項、関連するFeynman図形を与えている。この論文ではビーノとスレプトンのみが軽くなるようなパラメータ領域について考察される。対応するファインマン図形の寄与が大きくなるためには混合角が大きくなる必要はない。3.4節ではスレプトンの質量が世代により異なる場合には、LFVとEDMが一般にゼロでない値になることが示される。一方現在の実験では発見されていないので模型に対する強い拘束条件を与えることになる。3.5節ではHiggs粒子の2光子崩壊に対するMSSMの補正が説明されている。標準模型からのずれが stau 粒子の質量差が

大きい場合には大きくなることが示されている。最後に 3.6 節では超対称理論について LHC 実験でわかっていることがまとめられている。squark や gluino などといった粒子が 1TeV より大きくならなくてはならないことが既に示されている一方で、カラーを持たない超対称粒子については数百 GeV 程度以上の領域が可能な領域として残されている。

以上のレビューを元に第 4 章でミューオンの以上磁気モーメントを説明できるような超対称模型について考察がなされている。まず、4.1 節でこの論文の前提条件であるビーノとスレプトンのみが軽くなり、その他の粒子が非常に重くなる模型について、異常磁気モーメントの具体形が与えられる。次に、この論文の主要な結果の一つである真空の安定性に関する考察を与えている。この論文で考えているパラメータ領域ではスレプトン粒子に対する質量混合が大きくなってはならないが、その場合には真空の安定性がスレプトン粒子の質量に対して主要な拘束条件を与えることが示されている。この論文で考察されているパラメータ領域では主に 2 つの可能性がある。一つはスレプトンの質量がほぼ等しい場合、もう一つは stau 粒子のみが重くなってしまふ場合である。この 2 つのシナリオがこの論文で実験との関連で主に考察されている。最後に stau が LHC や ILC 実験で発見された場合に混合角との関係が考察されている。これは 3.6 節で与えた崩壊係数と 2 種類の stau の質量の関係を与えるものである。4.2 節では最初のシナリオであるすべてのスレプトンの質量が等しい場合について考察されている。この場合、真空の安定性とミューオンの異常磁気モーメントのズレを両方説明できる質量領域は 500GeV 以下の領域に制限される。これらの領域は LHC 実験で排除されている領域と既に重なり始めており、14TeV にスケールアップされた LHC 実験や ILC 実験ではその殆どのパラメータ領域をカバーできることが示している。次に第 2 のシナリオである stau の質量が非常に大きくなる極限では、smuon などの軽い超対称粒子に対する真空の安定性の拘束条件が弱くなり、1TeV 以上の重たい質量を持つことも排除できないことが示され、その場合には LHC 実験や ILC 実験などでは観測されない可能性があることになる。しかし、それらの場合には LFV や EDM といった物理量が有限になり、現在から将来にかけてのこれらの物理量の測定によりそのシナリオがほとんど排除できることが指摘されている。最後に 4.3 節では stau が発見された場合にその質量から Higgs の 2 光子崩壊係数に対する予言ができることが議論されている。

以上のような成果を与え、詳細なレビューも含めた学位論文にまとめたことは、論文申請者が博士（理学）としての十分な学識があることを示している。なお、本論文第 4 章は、理学系研究科の浜口准教授、遠藤助教、北原氏などとの共同研究に基づいているが、論文提出者が主体となって分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。