

# 論文の内容の要旨

論文題目

Gaugino mass in heavy sfermion scenario  
(重いスフェルミオン模型におけるゲージノの質量)

氏名 張ヶ谷 圭介

超対称模型は以下の様な理由で精力的に研究されてきた。第一に、超対称性によりスカラー場の質量に対する量子補正が小さくなる。そのため、電弱対称性の破れのスケールが、プランクスケールや大統一スケールよりも遥かに小さいことが説明できる。とりわけ、超対称性がゲージ相互作用により動的に破れれば、電弱対称性の破れのスケールはdimensional transmutationで説明される。第二に、標準模型を最低限の修正で超対称化した模型においては、標準模型の3つのゲージ結合定数が高いエネルギースケールで統一される。これはSU(5)大統一理論の予言と一致する。第三に、標準模型粒子の超対称パートナーのうちもっとも軽いもの(LSP)が電磁気力、強い相互作用に対して中性であれば、それは暗黒物質のよい候補となる。

超対称模型を実験で検証するためには、超対称性がどのように自発的に破れその破れがどのようにして超対称パートナー達に伝わっているかを仮定する必要がある。なぜなら、破れ方と伝わり方が超対称パートナー達の質量を決め、その質量により実験で検証する方法が全く変わってくるからである。

本論文では、「重いスフェルミオン模型」に注目する。超対称性を破る場が何らかの対称性に対して電荷を持っているか、パイオンやバリオンの様な複合場であることを仮定する。さらに、超対称性を破る場と標準模型粒子達が重力程度の大きさの相互作用のみでつながっているとす。実際、超対称性の破れがゲージ相互作用で動的に引き起こされる模型の多くでこれらの仮定が成り立つ。このとき、スカラー場達はグラビティーノ程度の重さになる一方で、ゲージノ達は超ワイル対称性の為に古典的には質量を持たない。ゲージノ達の質量は少なくとも量子異常媒介機構による量子補正で与えられ、スカラー場達の質量の百分の一から千分の一程度になる。「Pure Gravity mediation model」、「Spread supersymmetry」、「PeV supersymmetry」、「minimal split supersymmetry」と呼ばれる模型達は「重いスフェルミオン模型」に属する。

この模型において、グラビティーノの質量を $O(100-1000)$  TeVにおく。ゲージノの質量は $O(1)$  TeVになる。このとき、大型ハドロン衝突型加速器において発見されたヒッグス粒子の質量 $125$  GeVが、トップ及びスカラートップ粒子からの大きな量子補正により説明できる。また、中性ウィーノが暗黒物質の候補となる。さらに、ポロニー問題が始めから存在せず、かつグラビティーノが重い為にグラビティーノ問題が解消されており、初期宇宙の物理と非常に相性が良い。

「重いスフェルミオン模型」ではゲージノの質量が $O(1)$  TeVと、比較的軽い。模型の検証の第一歩となるのは、ゲージノの探索である。そこで本論文では、ゲージノの質量について考察する。

まず、上でも挙げた量子異常媒介機構を導出する。一般には、超共形補整場を導入した理論形式において超共形対称性から導かれる。しかし、複数の理論形式で同じ結果を導出することは理論の理解及び正当化の為に必要であろう。経路積分による超場形式において、経路積分測度の超ワイル対称性の量子異常から量子異常媒介機構が導かれることを示す。

次に、標準模型を最小限に拡張した超対称模型を超えてさらに粒子が存在する時のゲージノの質量への量子補正を考える。まずグラビティーノ程度の重さを持った粒子が存在する場合を考える。このような粒子は、量子異常を持たないR対称性を持った模型において予言されている。また、量子色力学アクシオン模型を考える。これらの模型において、ゲージノ質量が量子異常媒介機構のみで与えられる場合と比べてどのように変わるかを計算する。

これらの量子補正があるとき、ゲージノ達の質量が縮退する場合がある。このとき、初期宇宙における熱浴から作られたLSPの残存量は、いわゆる「共対消滅」により決まり、中性ウィーノがLSPとは限られなくなる。グルイーノ、ウィーノ、ビーノのうち2種ないし3種が縮退する時の共対消滅断面積を計算し、LSPの残存量を計算し、ゲージノがどのような質量関係を持つ時にLSP残存量が暗黒物質の観測量と一致するかを明らかにする。さらに、各々の質量関係の場合に対してゲージノの探索方法を議論する。

以上の議論により、「重いスフェルミオン模型」においてゲージノがどのように質量を獲得するか、どのような質量を持つ時にLSPの残存量が暗黒物質の観測量を説明するか、その質量をもったゲージノをどのように探索すればよいか、を明らかにする。