

論文内容の要旨

論文題目

Low energy scale gauge mediation and composite dark matter

(低エネルギースケールのゲージ伝播と複合暗黒物質)

氏名 白井 智

素粒子標準模型は大きな成功をおさめている。現在までの物理学実験の多くは標準模型によってよく記述することができる。しかし、その標準理論は未だに完全な成功を収めたとはいえていない。観測的観点に立つと、その存在がほぼ確実視されている暗黒物質や暗黒エネルギーとは何者なのかという問いには無力である。理論的観点からは、いわゆる階層性問題、つまり、重力スケールと電弱スケールがなぜここまで違っているのかということ、などの問題がある。このような困難に立ち向かうため、「標準理論を越えた物理」(Beyond Standard Model, BSM) を築こうとする試みが多くなされてきた。そのような中、超対称性 (SUSY) を導入した標準模型 (SUSY Standard Model, SSM) というのは非常に有望である。トップダウン的な考え方では、超対称性というのは、弦理論のような量子重力理論の構成のためには非常に重要なものである。またボトムアップ的考え方では、電弱スケールに超対称性があると、階層性問題が解けるだけでなく、(模型には依存するが) 安定性、中性性、生成機構の観点から適切な暗黒物質の候補が存在する。さらには、奇跡的にも 2×10^{16} GeV という高エネルギーで標準模型の 3 つのゲージ結合定数がほぼ統一する。このことは大統一理論への強い示唆を与える。超対称性理論はトップダウン的なアプローチからもあ

るいはボトムアップの現象論的な観点からしてももっともらしく思われる。

しかしながら、超対称性は必ずしも良い結果だけをもたらすとは限らない。例えば、多くの超対称標準模型では非常に大きなフレーバを破るプロセスを予言してしまい、現在までの実験と矛盾してしまう。また、重力子の超対称性パートナーであるグラビティーノという粒子はしばしば、グラビティーノ問題と呼ばれる宇宙論的な問題を引き起こすことが知られている。そのような中、低エネルギースケールのゲージ伝播模型というのは非常に魅力的である。この模型ではグラビティーノは eV 程度の非常に軽い質量をもち、グラビティーノ問題がないことが知られている。また、この模型では、フレーバ問題もない。

このように、低エネルギースケールのゲージ伝播模型は非常に魅力的であるが、一つ大きな問題がある。それは暗黒物質の存在についてである。実はこの模型では適切な暗黒物質の候補が存在しないのである。多くの SSM ではニュートラリーノと呼ばれる粒子がグラビティーノが暗黒物質になるのだが、ニュートラリーノはこの模型では安定な粒子ではなく、暗黒物質になれない。また、グラビティーノは軽すぎて、適切な暗黒物質の候補になれない。これはニュートリノが暗黒物質になれないのと同じ事情である。

幸いなことに、低エネルギースケールのゲージ伝播模型にはメッセンジャーと呼ばれる粒子が存在し、この粒子が暗黒物質の候補になる可能性がある。しかし、もっとも単純な模型では、このメッセンジャー粒子は、いくつかの観点から暗黒物質として適当な性質を持っていないことが分かる。例えば、その模型で予言される暗黒物質の量は現在の宇宙を再現するには多過ぎる。さらに、仮に適切な量が生成されたとしても、暗黒物質の直接検出実験と矛盾してしまう。

そこで、この論文では、メッセンジャー模型に修正を加えて、暗黒物質になる可能性を調べた。もし、メッセンジャーが未知の強く相互作用するゲージ群 $SU(5)$ に属しているのならば、閉じ込め効果によってメッセンジャーは陽子のような複合状態を作る。この複合粒子が暗黒物質として適切な性質をもつことを議論した。また、このような暗黒物質がの直接検出実験や宇宙線観測などにどのようなシグナルをもたらすかを調べた。その結果、この暗黒物質の直接検出については非常に難しいことが分かった。宇宙線に関してはこの模型は面白い予言をし、パラメータ領域によっては、近年報告された PAMELA 実験における、陽電子超過を説明できことがわかった。さらに、この模型が予言する LHC シグナルについても議論した。この模型は高エネルギーのレプトンまたは光子が生成されることを予言する。それらのシグナルを使った LHC での発見モードや発見可能領域を調べた。その結果、ほとんどのパラメータ領域が $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ 、積分ルミノシティ $\mathcal{O}(1) \text{ fb}^{-1}$ でテスト出来ることが分かった。