

論文内容の要旨

論文題目 Cosmological constraints on low-energy
gauge-mediated supersymmetry breaking models
(低エネルギーゲージ伝播模型における宇宙論からの制限の研究)

氏名 杉山昇平

超対称性を持った模型は素粒子標準模型における階層性問題の解決策として注目されている。標準模型に超対称性を持たせた最小限の拡張はMSSMとよばれ、ゲージ結合定数の統一などの好ましい点がある。超対称粒子は100GeVから1TeV程度の質量を持つと期待される。超対称性が本当に存在するならば現在稼働している加速器実験であるLHC実験で近い将来発見されるだろう。

グラヴィティーノは超対称性をゲージ化した超重力理論が预言する粒子である。グラヴィティーノは様々な宇宙論的問題を引き起こすことが知られている。多くの場合、宇宙の再加熱温度に厳しい上限が与えられる。再加熱温度は、宇宙の物質と反物質の非対称性の起源の説明である、バリオン数生成のシナリオに関わる。熱的レプトン数生成シナリオのように、 10^{19} GeVほどの高い再加熱温度が要求されることがある。

16eVの軽いグラヴィティーノにはこれらのグラヴィティーノ問題がないので、好ましい模型である。グラヴィティーノの質量は超対称性の破れのスケールの自乗に比例する。超対称粒子の現実的な質量スペクトルを得るには、超対称性の破れのセクターとMSSMセクターとの間に直接的な結合があってはならない。超対称性の破れの効果はなにがしかの機構で伝播される。超対称性の破れのスケールが低いときにはゲージ伝播模型が現実的な質量スペクトルを生成する。

この学位論文では16eV以下の質量を持つ低エネルギーゲージ伝播模型への宇宙論からの制限を研究した。低エネルギーゲージ伝播模型はグラヴィティーノ問題の観点からは好まれるが、現象論的な点や模型の構築の点で容易でない部分もある。

まず、準安定真空の問題を扱った。超対称性により多数のスカラー粒子が導入されるせいで、ほかに真空ができ、電弱対称性を破る真空が不安定もしくは準安定になることがある。準安定な場合はその寿命が宇宙年齢より長ければ、模型として許される。

ミニマルゲージ伝播模型はCPの問題やゲージ伝播模型における μ 問題を解決できる。この模型は非常に予言的で数個のパラメーターしか持たない。低エネルギーミニマルゲージ伝播模型は、二つのヒッ

グスの真空期待値の比である $\tan\beta$ が大きいことを予言する。そのため電荷保存を破る真空が現れることがある。我々は真空が準安定な場合にその寿命を数値計算により評価し、この模型のパラメータへの制限をみた。その結果、メッセンジャー粒子の超対称な質量に対して超対称性の破れが比較的大きく、かつ超対称性を破るセクターとメッセンジャーの結合定数がメッセンジャーの二重項と三重項とで違う場合には、この制限が強く効きうることがわかった。後者の条件は繰り込み群から期待される性質である。

準安定な真空はダイナミカルに超対称性を破る模型を構築する上でも関係がある。準安定真空での超対称性の破れを考えると模型の構築が格段に容易になり、可能性が広がることが知られている。ゲージ伝播模型での低い超対称性の破れのスケールは、このようなダイナミカルスケールとして生じていると考えられる。

ダイナミカルに超対称性を破る模型に、メッセンジャーを結合させることで、ゲージ伝播模型を実現させれば、超対称性の破れの全体像が得られるだろう。最近の研究によれば、そのような模型では、たいていの場合、真空が準安定になってしまうことが明らかになってきた。

我々は準安定真空となるような低エネルギーゲージ伝播模型で、その安定性からの制限を調べた。初期宇宙の高温状態での真空の熱的遷移を考え、そこからの制限も調べた。これを満たす模型は宇宙の熱的な歴史と無撞着であるといえる。後者の問題の方がより強い制限を与え、スクォークの質量が 1TeV 以下となることがわかった。スクォークがこの程度に軽ければ、LHC 実験での発見が期待できる。

我々はまた、暗黒物質の問題を考えた。観測により暗黒物質の存在が明らかとなっているが、これは素粒子標準模型以外の新粒子の存在の、現在得られている唯一の証拠である。MSSM には暗黒物質の候補がある。MSSM では、バリオン数やレプトン数を破る相互作用を禁止するために、R パリティと呼ばれる離散的対称性が仮定されることが多い。このおかげで最も軽い超対称粒子(LSP)は安定で、暗黒物質となる。最も期待の持てる例としてはニュートラリーノがある。ニュートラリーノは WIMP 暗黒物質、すなわち弱い相互作用をし 100GeV のオーダーの質量を持つ暗黒物質、に分類される。暗黒物質直接検出実験は多くのグループが行っているが、WIMP 暗黒物質の検出を狙って設計されている。

ゲージ伝播模型ではグラヴィティーノが LSP となる。グラヴィティーノが暗黒物質になるシナリオは先に述べたグラヴィティーノ問題を生ずる。低エネルギーゲージ伝播模型ではグラヴィティーノは観測されている暗黒物質残存量の非常に小さな割合を占めるにすぎない。暗黒物質の主要な割合を占める粒子はこの模型にはない。特に、低エネルギーゲージ伝播模型の文脈で WIMP 暗黒物質の研究はなされていなかった。我々は低エネルギーゲージ伝播模型に WIMP 暗黒物質となる粒子を導入する拡張を行った。この模型でどのようなパラメーターで暗黒物質の残存量が説明できるか明らかにした。また、直接検出実験、加速器実験での検証可能性を論じた。