

縮退スカラー場を持つ複素スカラー拡張模型における電弱バリオン数生成

概要

出川智香子

素粒子標準模型は、2012年のヒッグス粒子の発見によって一応の完成を見た。標準模型は実験的予測において一定の成功を収めているが、物質反物質非対称性の起源や暗黒物質の正体など標準模型では説明できない現象もいくつか存在している。そのため、標準模型の拡張は不可欠である。一方、標準模型が現時点での素粒子の振る舞いを最も正確に記述している理論であることも事実であるため、私は標準模型に最小の拡張を施す「ミニマリティ」という指針に基づいて拡張スカラー（ヒッグス）模型を取り扱う。

物質反物質非対称性を説明するために、レプトジェネシスやニュートリノ振動など、さまざまなシナリオが考えられてきた。ここでは拡張ヒッグス模型を考えるため、ヒッグス物理学と密接に関係する電弱バリオジェネシスを使ってバリオン数を生成することを試みている。電弱バリオジェネシスはその名の通り、エネルギースケールが電弱スケールにあるため最も検証可能とされるシナリオである。標準模型に含まれる CP 対称性の破れは電弱バリオジェネシスを駆動するには不十分であるため、標準模型を超えるモデルには CP 対称性の破れの新しい起源を導入する必要がある。

暗黒物質の候補としては、質量が小さく相対論的な運動をする熱い暗黒物質と、質量が比較的大きく非相対論的な運動をする冷たい暗黒物質が考えられる。冷たい暗黒物質の中でも、観測された暗黒物質の残物密度を熱的に説明できる WIMP (weekly interacting massive particle) は代表的な候補である。本研究では $\mathcal{O}(10-100)$ GeV の質量を持つ WIMP 暗黒物質を扱う。WIMP 暗黒物質の探索実験には核子との散乱を観測する直接検出実験がある。しかし、暗黒物質のシグナルは未だ見つかっておらず、散乱断面積には強い制約が課せられている。したがって、この制約を破ることなく WIMP 暗黒物質を含む模型を構築することは大きな課題となっている。

我々は、1つの複素一重項スカラー場を追加することによる SM の拡張 (complex singlet extension of the SM : CxSM) を検討する。この一連の研究は、CP 変換の下で不変な CxSM と CP 対称性を破る CxSM の2つに大別できる。前者では、新たに導入されるスカラー場の虚部が暗黒物質として振る舞う。さらに、標準模型ヒッグスと一重項スカラーの実部が混ざり、2つのヒッグス粒子が現れる。この2つのヒッグス粒子の質量が縮退していれば、直接検出実験からの強い制約を満たすことができ、これを縮退スカラーシナリオと呼ぶ。一方、電弱バリオジェネシスの実現には強い電弱一次相転移が不可欠であり、縮退スカラー領域での実現可能性を調べる。

次に、電弱バリオジェネシスの実現のために、CP 対称性を破る CxSM を考える。このモデルには3つのヒッグス粒子が存在し、一重項スカラーの虚部はもはや DM としては振る舞わない。まずスカラーポテンシャルに含まれる CP 対称性を破る位相が電弱相転移に与える影響を調べ、電弱相転移から発生する重力波を見積もる。次に、高次元演算子を導入して CP 対称性を破る位相を標準模型セクターに伝播させ、CP 位相に敏感な電気双極子モーメント実験との整合性を確認する。最後に、生成されるバリオン数を見積もり観測値と無矛盾な結果が得られることを示す。