

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 18 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23740190

研究課題名(和文) 真空構造の解析によるレプトンフレーバーと超対称性の破れの起源の解明

研究課題名(英文) Toward the origins of lepton flavour violation and SUSY breaking from analysis on vacuum structure

研究代表者

下村 崇 (Shimomura, Takashi)

宮崎大学・教育文化学部・准教授

研究者番号：00447278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：超対称模型の真空構造を解析し、今まで知られていなかった真空が存在する事を明らかにした。これらの真空の中には現在の宇宙を説明出来ない誤った真空が含まれており、この誤った真空を避けるための条件から超対称性の破れ、ヒッグス粒子の質量、およびニュートリノの質量に関するパラメーターに対する新たな制限を与えた。特に、LHC実験によって発見されたヒッグス粒子の質量を自然と説明する模型として屋気楼伝搬機構を課した次最小超対称標準模型について解析を行い、超対称性の破れのパラメーターに関する制限を明らかにした。これにより、模型のパラメーターをより強く制限出来る様になった。

研究成果の概要(英文)：I have analyzed the vacuum structure of scalar potentials in supersymmetric models and showed the existence of some new vacua. Such new vacua include so-called false vacua on which the Universe we live is never realized. I derived the conditions to avoid the false vacua and gave new constraints on the parameters of supersymmetry breaking terms, Higgs mass terms and neutrino mass terms. Especially, based on latest data reported from the LHC experiment, I have analyzed the vacuum structure of the Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model implementing the Mirage mediation, which can explain the mass of the Higgs particle, and gave constraints on the supersymmetry breaking parameters.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：超対称性 真空構造 ヒッグス レプトンフレーバーの破れ

1. 研究開始当初の背景

(1) ニュートリノ振動実験からニュートリノは非常に小さいが有限な質量を持ち、かつ混合している事が明らかになっていた。ニュートリノの質量の小ささと混合の様子を説明するため多くの模型が提案されていたが、実験からの情報が足りなくどの模型が正しいのかを決めるには至っていなかった。

(2) LHC 実験が始まり、階層性問題の解決方法の一つである超対称性理論から予言される新粒子の発見が期待されていた。超対称性は、もし存在するとしたら現在の宇宙では破れていなくてはならないため、その破れがどのような機構によって起こるのかを特定する事が重要となる。破れの機構を特定するには実験データから出来るだけ多くの情報を引き出す事、さらに理論的な観点からも情報を引き出す必要があった。

(3) 超対称性によって予言される新粒子の中には、宇宙観測からその存在が明らかになった暗黒物質も含まれると考えられていた。しかし直接探索では見つかっておらず、実験的にも理論的にもより多くの情報が必要とされていた。

2. 研究の目的

ニュートリノの小さな質量と混合の生成機構、それに超対称性の破れの機構を特定または取捨選択するためには、実験結果だけでなく理論的な観点からも模型を制限する必要がある。

理論的な制限を与える一つの方法として模型の真空構造を解析する手段がある。これを使ってニュートリノの質量生成に関するパラメーターと超対称性の破れパラメーターを制限する一般的な条件式を導出する事が第一の目的である。導出した条件式からパラメーターの排除領域を明示し、それによって多くの模型に対する具体的な制限を与える事、また他の実験結果と組み合わせる事で多くの模型を取捨選択する事が出来る様にする事がこの研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) 超対称模型の真空構造を調べ、この宇宙を再現し得ない誤った真空を避けるための必要条件を導出した。真空の存在は超対称性の破れの項に依存するため、この条件によって超対称性の破れの項を制限する事が出来る。同時にニュートリノの質量生成機構に起因する誤った真空の存在を調べた。それによってニュートリノの質量生成機構に関するパラメーター間の条件式を導出した。

(2) 得られた条件式から各パラメーターの排除領域を明らかにした。特に LHC 実験で発見されたヒッグス粒子に関するパラメーターを重点的に調べ、広く研究されている

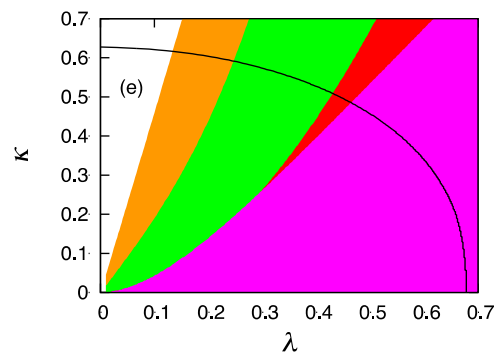
NMSSM 模型でのパラメーターに対して制限を与えた。

(3) 超対称性の破れの伝搬機構の一つである屋気楼伝搬機構を NMSSM に組み込み、ヒッグスセクターの解析を行った。また真空構造からの制限を適用するため、CMSSM という模型で Li 問題を解決出来るパラメーター領域での現象論的な研究を行った。また IceCube 実験によって示唆されている宇宙ニュートリノフラックスの測定結果を説明する簡単な模型を提案した。

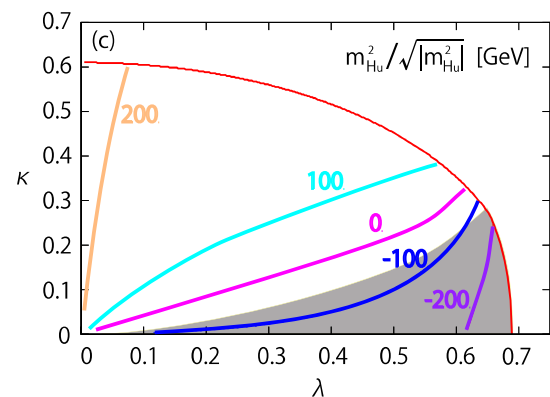
4. 研究成果

(1) 一般的な NMSSM の真空構造を解析し、これまで知られていなかった誤った真空を見つけた。特にレプトンフレーバーの破れとヒッグス粒子のパラメーターに着目し、どのようなパラメーター領域に誤った真空が現れるのかを特定した。

この誤った真空を避けるための必要条件を解析的に導出し、模型のパラメーターに対する制限式を与えた。さらに数値計算によってパラメーターの排除領域を与えた(下図)。これによりパラメーターに対して新たな制限を与える事が出来る様になった。



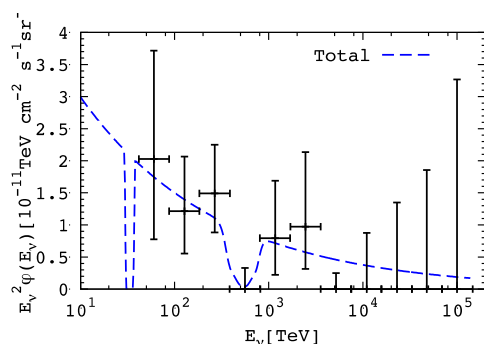
(2) 屋気楼伝搬機構を組み込んだ NMSSM に対して、誤った真空を避けるための条件を適用した。それによって超対称性の破れのパラメーターに新たな制限を与える事が出来た。(下図)



また、LHC によって得られたヒッグスの質量をインプットにして、パラメーターの許容領域をさらに制限した。

(3) 真空構造の解析から得られる制限式を適用するため、CMSSM 模型で Li 問題を解決するパラメーター領域での暗黒物質の残存量等を計算した。この結果と組み合わせる事により、そのパラメーター領域での真空間の遷移寿命を計算した。その結果、ほとんどのパラメーター領域が長寿命な不安定真空である事が分かった。この結果は現在纏めているところである。

また、LHC 実験以外の実験結果にも注目して研究を行った。IceCube 実験によって測定された宇宙ニュートリノのフラックスを説明するため、 $U(1)_{\mu}$ 模型を考えた。ニュートリノ混合も考慮に入れて解析を行った結果、観測結果を説明し得る事を明らかにした。(下図)



今後はこの方面で超対称な模型を考え、真空構造の解析からの制限にレプトンフレーバーの破れの構造に関してどの程度情報を引き出せるかを調べていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

Takeshi Araki, Fumihiro Kaneko, Yasufumi Konishi, Toshihiko Ota, Joe Sato, Takashi Shimomura, Cosmic neutrino spectrum and the muon anomalous magnetic moment in the gauged L_{μ} - L_{τ} model, 査読有, Phys.Rev. D91 (2015) 3, 037301, 10.1103/PhysRevD.91.037301
Big-bang nucleosynthesis through bound-state effects with a long-lived slepton in the NMSSM, Kazunori Kohri, Masafumi Koike, Yasufumi Konishi, Shingo Ohta, Joe Sato, Takashi Shimomura, Kenichi Sugai, Masato Yamanaka, 査読有, Phys.Rev. D90

(2014) 3, 035003,

10.1103/PhysRevD.90.035003

Yasufumi Konishi, Shingo Ohta, Joe Sato, Takashi Shimomura, Kenichi Sugai, Masato Yamanaka, First evidence of the constrained minimal supersymmetric standard model is appearing soon, 査読有, Phys.Rev. D89 (2014) 7, 075006, 10.1103/PhysRevD.89.075006

Yusuke Morita, Hiroaki Nakano, Takashi Shimomura, Neutrino Mass and Proton Decay in a $U(1)_{R}$ Symmetric Model, 査読有, PTEP 2013 (2013) 053B02, 10.1093/ptep/ptt016

Kazunori Kohri, Shingo Ohta, Joe Sato, Takashi Shimomura, Masato Yamanaka, Allowed slepton intergenerational mixing in light of light element abundances, 査読有, Phys.Rev. D86 (2012) 095024,

10.1103/PhysRevD.86.095024

Tatsuo Kobayashi, Hiroki Makino, Ken-ichi Okumura, Takashi Shimomura, Tsubasa Takahashi, TeV scale mirage mediation in NMSSM, 査読有, JHEP 1301 (2013) 081, 10.1007/JHEP01(2013)081

Tatsuo Kobayashi, Takashi Shimomura, Tsubasa Takahashi, Constraining the Higgs sector from False Vacua in the Next-to-Minimal Supersymmetric Standard Model, 査読有, Phys.Rev. D86 (2012) 015029,

10.1103/PhysRevD.86.015029

[学会発表](計6件)

下村崇, Li 問題を解決する長寿命スタウと SUSY spectrum, テラスケール 2014, 2014.11.29, 「大阪大学(大阪市)」

下村崇, Cosmic Neutrino Spectrum and $(g-2)_{\mu}$ in the gauged L_{μ} - L_{τ} model, KEK-PH 2014, 2014.10.24, 「KEK(つくば)」

下村崇, First evidence of CMSSM is appearing soon, 基研研究会 素粒子物理学の進展 2014, 2014.7.30, 「京都大学基礎物理学研究所(京都)」

Takashi Shimomura, TeV scale Mirage Mediation in NMSSM, DESY THEORY WORKSHOP, 2012.9.27, 「Hamburg, (Germany)」

Takashi Shimomura, TeV scale Mirage

Mediation in Next-to-Minimal
Supersymmetric Standard Model,
International Conference SUSY 2012,
2012.8.16, 「北京(中国)」
下村崇, Constraining the Higgs masses
from false vacua in the next-to minimal
supersymmetric standard model, 2011
年日本物理学会秋季大会, 2012.9, 「弘前
大学(青森)」

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下村崇 (Shimomura Takashi)
宮崎大学 教育文化学部 准教授
研究者番号：00447278

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：