

平成 30 年 9 月 12 日現在

機関番号：17601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17654

研究課題名(和文) ニュートリノ実験によるMeVスケール領域の新物理の探索

研究課題名(英文) Search for new physics in MeV scale at neutrino oscillation experiments

研究代表者

下村 崇 (Shimomura, Takashi)

宮崎大学・教育学部・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)：近年の宇宙ニュートリノ観測および原子核崩壊実験からMeV程度の軽い質量を持つゲージ粒子の存在が示唆された。この様な軽いゲージ粒子は素粒子物理学の標準模型には存在しないため、新たな素粒子と考えられる。

本研究ではこの軽いゲージ粒子を加速器実験や暗黒物質探索から検証するための理論的解析を行った。具体的には実験で検証するためにはどの反応に着目すべきかを示し、その反応から検証可能なパラメータ領域を明らかにした。これにより将来の実験結果をもとに軽いゲージ粒子の存在を検証できる様にした。

研究成果の概要(英文)：A gauge boson with mass of order MeV has been suggested by recent cosmic neutrino flux observation and nucleus decay experiments. Such a light gauge boson should be a new particle since no candidates exist in the standard model particle physics.

In this project, we studied possibilities on detecting such a light gauge boson at collider experiments and direct dark matter searches. We proposed an appropriate processes at experiments to search the gauge boson, and showed parameter regions which can be examined at the experiments. These results enables us to search the light gauge boson by analyzing experimental data provided by future experiments.

研究分野：素粒子物理学

キーワード：軽いゲージ粒子 暗黒物質 ニュートリノの質量の起源 Belle-II実験 暗黒物質探索実験

1. 研究開始当初の背景

(1) ニュートリノ振動実験によりニュートリノが質量を持ち、かつ混合している事が明らかになっていった。現在までにニュートリノの質量と混合を説明するために数多くの模型や機構が提案されているが、これまでの実験と観測ではどれが正しいものであるかを定めることはできていなかった。

(2) 階層性問題や暗黒物質、ミュー粒子の異常磁気能率のずれ等からも新たな物理法則が存在すると考えられていた。これらの物理法則で予言される新粒子は数100GeVから1TeV以上の質量を持つと考えられ、LHC実験で探索が行われていたが発見には至っていなかった。

(3) 一方でIceCube実験から宇宙ニュートリノのフラックスの一部、エネルギーにして400TeVから1000TeVの間に減少が見つかった(図1)。ニュートリノが宇宙空間を飛んでくる間にこの減少が起こるのだとすると、それを説明するためには数100MeV程度の質量を持つ粒子が必要となることが明らかにされた。新粒子の質量としてこの様に軽いものは当時あまり考えられていなかった。またこの様な軽い粒子でもミュー粒子の異常磁気能率のずれを説明し得ることが示された(図2)。

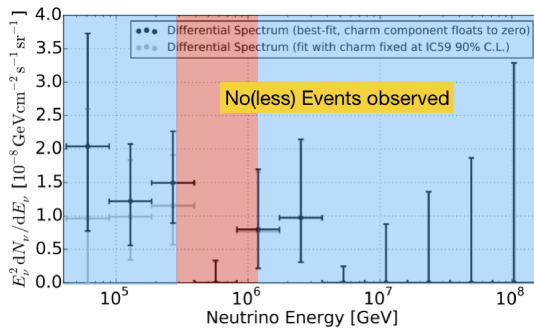


図1 パラメーター領域

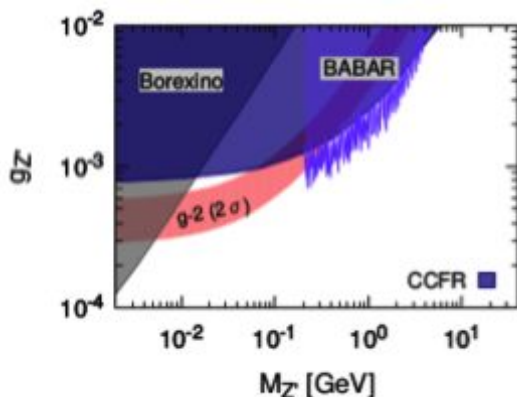


図2 IceCubeによるニュートリノフラックス

2. 研究の目的

本研究の目的はIceCube実験の結果から示唆されるMeV程度の質量を持つ新粒子の検証可能性を理論的に明らかにすることである。それによりニュートリノの隠された相互作用を明らかにし、質量と混合の起源に対する新たな知見を得ることである。具体的にはニュートリノ三重生成過程を通して新粒子を発見またはパラメーターをどこまで制限できるかを明らかにすることである。またBelle-II実験での検証可能性も同時に調べ、ニュートリノ三重生成過程の結果と組み合わせることによってどこまでニュートリノの性質を明らかにできるかを調べる。

3. 研究の方法

(1) IceCube実験から報告されたニュートリノフラックスの減少を説明するため、Lμ-Lゲージ対称性を考え、この対称性に付随するゲージ粒子がフラックスの減少を説明し得るパラメーター領域を明らかにする。また、IceCube実験の結果とミュー粒子の異常磁気能率をも説明できるパラメーター領域を明らかにする。解析には散乱されたニュートリノのエネルギー分布も考慮に入れ、IceCubeの結果と比較する。

(2) Atomki実験によりベリリウム原子核が電子陽電子対に崩壊する割合が標準的な原子核物理の理論では説明できないという報告なされている。これを説明するためにB-Lゲージ対称性を持つ輻射シーソー機構を考え、ニュートリノ質量と混合を説明しつつAtomki実験の結果が説明できるかを明らかにする。それにより模型から予言される暗黒物質の検証可能性を明らかにする。

(3) Belle-II実験でIceCube実験の結果を説明しうるLμ-L対称性のゲージ粒子をどこまで検証できるかを明らかにする。また、ニュートリノ振動実験などで使われるニュートリノビームを用いた場合、どこまでゲージ粒子を検証できるかを明らかにする。これら二つの結果を組み合わせることによって軽いゲージ粒子の検証可能性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 業績 においてニュートリノの質量と混合を説明しうるLμ-Lゲージ対称性を持つ模型を考え、IceCube実験を説明できるパラメーター領域を明らかにした。解析には宇宙ニュートリノの散乱によるフラックスの変化も考慮に入れた解析を行い、より詳細にパラメーター領域を決定した(図3)。またニュートリノの質量階層を変えた場合に予言されるフラックスがどのように変化するかも明らかにした。

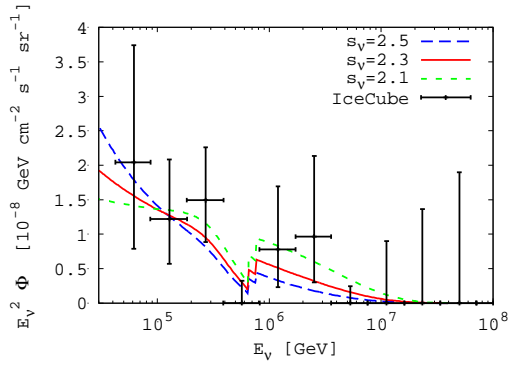


図 3 予言されるニュートリノフラックス

(2) 業績 において B-L ゲージ対称性を持つ輻射シーソー模型を考え、ニュートリノに質量と混合を説明できるパラメータ領域においてこの対称性のゲージ粒子が Atomki 実験の結果を説明できる事を明らかにした。さらにそのパラメータから暗黒物質の質量が決定されることに着目し、直接探索の断面積を予言した(図4)。

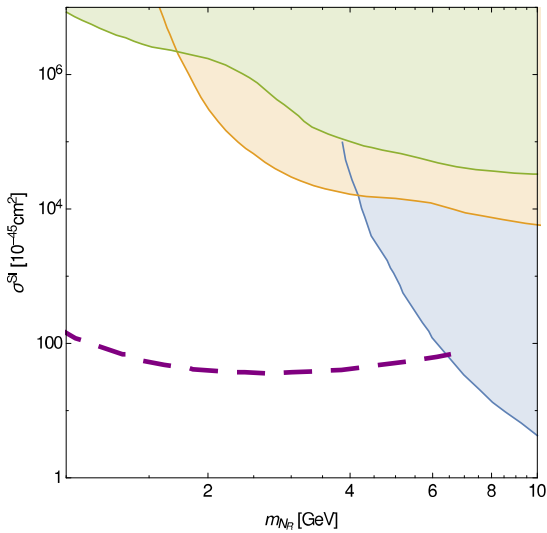


図 4 暗黒物質の散乱断面積

(3) 業績 と において L μ -L ゲージ対称性の粒子を Belle-II 実験でどこまで検証可能かを明らかにした。解析はゲージ粒子間の力学混合を含む場合と含まない場合に分けて行った(図5と6)。また T2K 実験の前置検出器でニュートリノ三重生成過程を測定する場合を想定し、測定からどこまで検証可能かを明らかにした(図7)。

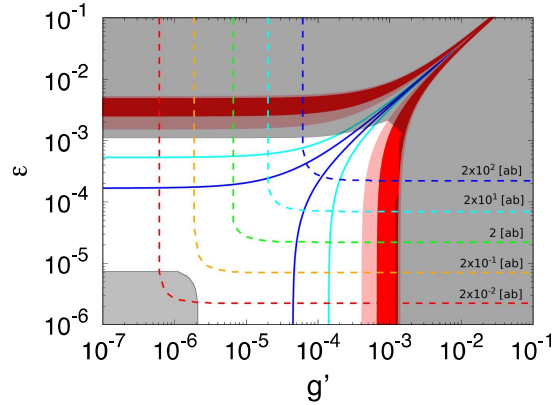


図 5 力学混合がある場合の Belle-II で検証可能なパラメータ領域

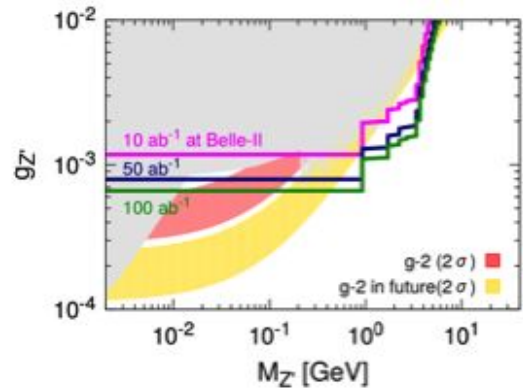


図 6 力学混合がない場合の Belle-II での検証可能なパラメータ領域

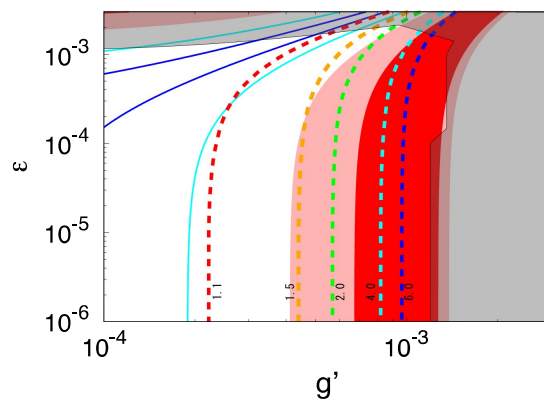


図 7 ニュートリノ三重生成過程で検証可能なパラメータ領域

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8件)

Munehiro Kubo, Joe Sato, Takashi Shimomura, Yasutaka Takanishi, Masato Yamanaka, Big-Bang nucleosynthesis and leptogenesis in CMSSM, 査読有, Phys. Rev. D (2018)収録決定

Tatsuo Kobayashi, Osamu Seto, Takashi Shimomura, Yuko Urakawa, Relaxion Window, 査読有, Modern Physics Letter A32 (2017) no.27, 1750142.

Joe Sato, Takashi Shimomura, Masato Yamanaka, A Solution to Lithium Problem by Long-Lived Stau, 査読有, International Journal of Modern Physics E26 (2017) no.08, 1741005.

Osamu Seto and Takashi Shimomura, Atomki anomaly and dark matter in radiate seesaw model with gauged B-L symmetry, 査読有, Physical Review D95(2017) no.9, 095032

Takeshi Araki, Shihori Hoshino, Toshihiko Ota, Joe Sato, and Takashi Shimomura, Detecting the Lmu-Ltau gauge boson at Belle II, 査読有, Phys.Rev. D95 (2017) no.5, 055006

Yuya Kaneta and Takashi Shimomura, On the possibility of search for Lmu-Ltau gauge boson at Belle-II and neutrino beam experiments, 査読有, Progress of Theoretical and Experimental Physics 2017(2017) no.5, 053B04

Kei Hagimoto, Tatsuo Kobayashi, Hiroki Makino, Ken-ichi Okumura, Takashi Shimomura, Phenomenology of NMSSM in TeV scale mirage mediateon, 査読有, Journal of High Energy Physics 1602(2016) 089

Takeshi Araki, Fumihiro Kaneko, Yasufumi Konishi, Toshihiko Ota, Joe Sato, Takashi Shimomura, MeV scale leptonic force for cosmic neutrino spectrum and muon anomalous magnetic moment, 査読有, Physical Review D93 (2016) no.1, 013014

〔学会発表〕(計7件)

Takashi Shimomura, Atomki anomaly and dark matter in radiate seesaw model with gauged B-L symmetry, ニュートリノフロンティアの融合と進化 2017, 2017.12.11, 琵琶湖グランドホテル
下村崇, Atomki anomaly and dark matter in radiate seesaw model with gauged B-L symmetry, 「地上実験で検証可能な新物理」, 2017.11.12, 大阪大学

下村崇, Search for Lmu-Ltau gauge boson at Belle-II, Flavor physics workshop 2017.10.16, 神奈川県三浦市

三浦マホロバ温泉

瀬戸治, 下村崇, Atomki anomaly and dark matter in radiate seesaw model with gauged B-L symmetry, 日本物理学会 2017 年秋季大会, 2017.9.14, 宇都宮大学

Takashi Shimomura, Search for Lmu-Ltau gauge boson at Belle-II, New Higgs working group 20th regular meeting, 2017.8.19, Osaka University

Takashi Shimomura, Neutrino Trident Production, 第30回ニュートリノ研究会「ニュートリノ相互作用の物理」, 2017.2.4, Institute for Cosmic Ray Research

Takashi Shimomura, Light gauge boson and neutrino trident production processes, ニュートリノフロンティアの融合と進化 2016.11.30, 山代温泉ゆのくに天祥

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

無し

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:
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 (Takashi Shimomura)
宮崎大学・教育学部・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：

(4)研究協力者 ()