

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	玉井 考太郎
学位授与の要件	学位規則第4条第①・②項該当		
論文題目			
Higgs sector of Dirac neutrino mass model of Davidson and Logan (ダヴィドソンとローガンのディラックニュートリノ質量モデルのヒッグスセクター)			
論文審査担当者			
	主 査	准教授	両角 卓也
	審査委員	教 授	大川 正典
	審査委員	教 授	小畠 康史
	審査委員	教 授	杉立 徹
〔論文審査の要旨〕			
<p>ヒッグス粒子が大型ハドロンコライダー(LHC)において発見された。これにより標準模型の枠組みで予言されたすべての粒子が見つかり、その提唱から半世紀あまりを経て標準模型は、実験的にも検証されたことになる。特にヒッグス粒子の発見は、すべての素粒子の質量の説明の鍵となるものであり、その発見の意義は大きい。標準模型においては、クォーク、レプトンの質量はヒッグス粒子との結合定数を調整することで説明されている。このことからわかるように、標準模型においては、なぜ三代のクォーク、レプトンがあり、それらの質量階層性の起源は何か、などの問いに関しては、その枠組みの中では答えを与えていない。特にニュートリノの質量は、他のクォークや荷電レプトンに比べ軽く、その小さな質量起源を説明する、「標準模型を超える理論」が提唱されている。</p> <p>ニュートリノ質量を説明する方法の一つはニュートリノの質量項にレプトン数の保存を課すことで、クォークや荷電レプトンと同じようにニュートリノもディラック質量項を持つようにする。この方法ではニュートリノとヒッグス場との結合定数がきわめて小さい値をとる必要がある。これ自体は理論に内在的な矛盾を与えるものではないが、レプトン数の保存を課す必要がある点やニュートリノとヒッグスの結合がなぜ他のクォーク、レプトンに比べ小さいかには答えるものではない。レプトン数の保存を課さない立場では、右巻きニュートリノはゲージ不変な質量項を持てるので、その質量項を電弱対称性の破れのエネルギースケールよりはるかに大きく取ることにより弱い相互作用に関わる小さなニュートリノ質量を説明するアイデアが提唱されている。(シーソー模型、柳田ら)。この模型ではニュートリノはマヨラナ型の質量項を持ち、ニュートリノレス2重ベータ崩壊を引き起こす。現状では、ニュートリノレス2重ベータ崩壊は実験的に観測されていない。このような状況から、本論文の著者は小さいディラック質量をヒッグスとの結合を微小にとることなく自然に導く模型を研究している。これが、論文題目にある、ダヴィドソンとローガンのディラックニュートリノ質量モデルである。この模型ではニュートリノの小さい質量はニュートリノに結合する新しいヒッグス粒子の真空期待値が小さな値をとることによって説明される。ニュートリノの質量は新たに導入したヒッグス粒子の真空期待値に比例する。ニュートリノ質量の小ささを2つのヒッグス場からなるヒッグスポテンシャルの真空</p>			

構造に帰した模型である。2つのヒッグス場は互いに大きさが異なる真空期待値を持つことになる。

著者は、この模型を理論的な観点と現象論的な観点から調べている。

まず、理論的な観点から、ニュートリノの質量の起源になる小さなヒッグス場の真空期待値が量子補正を入れても小さく留まるかを調べている。一般に異なるエネルギースケールや質量スケールを含む量子場の理論において、古典近似で得られたヒッグス場の真空期待値の大きさは、量子補正を加えると大きく変わる場合がある。ここで研究している模型では、新しいヒッグス場の真空期待値は模型の近似的な対称性が厳密に成り立つ極限でゼロになる。実際には、この対称性は、ヒッグス場の質量項によって破れている。このような質量項による対称性の破れの場合、真空期待値に対する量子補正は、対称性をあらわに破る質量項に比例することが知られている。したがって、量子補正を含めても小さな真空期待値は安定であることが予想される。本論文の著者は、この模型のヒッグスポテンシャルの量子補正を計算することで、真空期待値の量子補正を導いた。その結果、量子補正は予想通り対称性を破る質量項に比例するという特徴をもつことを確認し、さらに、ヒッグスポテンシャルのパラメーターやこの模型に含まれる4種類のヒッグス粒子の質量にどのように依存しているかを明らかにした。求めた量子補正の表式を用いて、これが小さくなる条件とヒッグスポテンシャルが下限を持つ条件を要求することで、模型に含まれる新たなヒッグス粒子（荷電ヒッグス、および中性ヒッグス粒子）の質量領域を予測した。

次に、現象論的な観点から模型の予言する新しいヒッグス粒子をどのように見つけるかを研究している。この模型のヒッグス粒子がレプトンに選択的に結合することから、次世代の電子陽電子加速器（International Linear Collider 実験）を用いて新たなヒッグス粒子を探索するための研究を行っている。新しいヒッグス粒子の対生成過程が、理論の近似的な対称性で抑制されない点に着目して、電子、陽電子衝突から電弱ゲージ粒子であるWボソン、Zボソンを生成させ、それらの衝突により新しい荷電ヒッグスと中性ヒッグス粒子を生成させる物理過程を研究している。この断面積を計算することで、将来の電子陽電子加速器でどのように模型のヒッグス粒子を探索するかについて基礎的なデータを導いた。さらに、生成された荷電ヒッグス粒子の崩壊分岐比が崩壊先のレプトンの種類によって異なることも議論している。この分岐比の違いを観測することによって、最も軽いニュートリノの質量の大きさやニュートリノの質量階層性を決定する可能性についても言及している。

本研究は、ニュートリノの小さい質量の起源を新しいヒッグスの物理に関係づける素粒子模型を理論的、現象論的な両面から研究し、真空期待値の安定性という観点から、新しいヒッグス粒子の質量に関する制限を求めた。さらに、ヒッグス粒子対の生成断面積を求めることで、模型がその存在を予想する新しいヒッグス粒子の実験的探索に関して重要な寄与をしたと認められる。

以上、審査の結果、本論文の著者は博士（理学）の学位を授与される十分な資格があるものと認める。

公表論文

- (1) Quantum correction to tiny vacuum expectation value in two Higgs doublet model for Dirac neutrino mass.

Kotaro Tamai, Takuya Morozumi, Hiroyuki Takata

Physical Review D85, 055002 (2012) 1-13

- (2) Charged Higgs and neutral Higgs pair production of the weak gauge boson fusion process in electron-positron collisions.

Kotaro Tamai, Takuya Morozumi

Progress of Theoretical and Experimental Physics, 093B02(2013)1-16