

## 論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 ( 理 学 )	氏名	河村 優太
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目			
Study of the effective field theory for the model with light and heavy scalars (軽いスカラーと重いスカラーを含む模型の有効理論の研究)			
論文審査担当者			
主 査	准教授	両角 卓也	
審査委員	教 授	稲垣 知宏 (情報メディア教育研究センター)	
審査委員	教 授	小 嶋 康史	
審査委員	教 授	野中 千穂	
〔論文審査の要旨〕			
<p>標準模型は素粒子物理学の中で最も成功した理論の1つである。一方ニュートリノ振動の観測やベータ崩壊の電子のエネルギースペクトルなどから、ニュートリノが小さい質量を持つことが明らかになった。ニュートリノが他の荷電レプトンと同様にディラック粒子である場合を考えるとニュートリノの小さい質量を説明するには、ニュートリノとヒッグス粒子の間の湯川結合を非常に小さくする必要がある。</p> <p>学位論文では、ニュートリノの小さな湯川結合を説明するためにニュートリノに直接結合しない軽いスカラー場と直接結合する重いスカラー場の2種類のスカラー場を導入した模型を研究している。先行研究において、重いヒッグス粒子と標準模型のヒッグス粒子の間の質量混合項(ミキシング)を導入することで小さい湯川結合を仮定せずにニュートリノの質量を説明する模型が提唱されている。現在、標準模型のヒッグス粒子の他に、新たなヒッグス粒子は発見されておらず、これが存在するとしても、現在、加速器実験で到達されているエネルギーよりも重い質量を持つ可能性がある。このような場合、加速器で粒子を生成し検出する直接探索よりも、標準模型の予言値とのずれを検出することで、新粒子の効果を調べる間接探索が有用である。重い粒子の間接探索に有用な方法として有効理論の方法がある。</p> <p>この方法は、素粒子の標準模型の背後にはより基本的な模型があり、そのような模型の低エネルギー有効理論として標準模型の相互作用の大きさが決まるという考え方に基づいている。有効理論の方法では、実験で探索しているエネルギースケールよりも重い新粒子は積分することで、新粒子を力学的な自由度として含まない理論を構築する。新粒子の質量やそれがかかわる相互作用の情報は有効理論に現れる有効結合定数などに含まれる。この有効結合定数から新粒子の存在を間接的に検証することが可能になる。</p> <p>学位論文では、有効理論の方法をニュートリノと2つのスカラー粒子を含む模型に適用し有効ポテンシャルを導いている。この有効ポテンシャルはニュートリノと軽いスカラー場の真空期待値で書かれている。重いスカラー場を積分することで軽いスカラー場とニュートリノの小さな湯川結合を導いている。出発点となる模型において、2つのスカラー場のうち軽いスカラー場は標準模型におけるヒッグス粒子を表し、直接ニュートリノには結合せず、ニュートリノに直接結合する重いスカラー場とのミキシング項を通してニュ</p>			

ートリノと結合する。このため、軽いスカラー場とニュートリノの有効湯川結合は重いスカラー場の質量2乗に反比例し、2つのスカラー場のミキシングの大きさに比例する。重いスカラー場の質量に対するミキシングの大きさの比を小さくすることでニュートリノと軽いスカラー場の有効湯川結合を小さくできる。

この研究で導かれた有効ポテンシャルはよく知られている一粒子既約な有効ポテンシャルが異なり、重い粒子に関して一粒子可約なファインマンダイアグラムに対応する寄与も取り込んでいる。このために重いスカラー場に対してはソース項をいれずに有効作用を定義している。

導いた有効理論の精度に関しては、重いスカラー場と軽いスカラー場の量子効果を1ループまで取り込み、結合定数の2次の近似まで求めている。このように量子効果を取り込んでもニュートリノと軽いスカラー場の有効湯川結合が小さく保たれることを明らかにしている。さらに有効ポテンシャルの繰り込み点依存性も研究し、近似の範囲で繰り込み点依存性がないことを示している。

有効ポテンシャルに対する1ループの量子補正の形から重いスカラー場による量子補正と軽いスカラー場による量子補正をそれぞれ同定している。さらに、大きな対数補正を伴う軽いスカラー場の量子補正を繰り込み群の方法を使って足しあげることによって有効ポテンシャルを改善している。

このように導いた有効ポテンシャルを用いて、有効ポテンシャルのパラメーターやその停留条件から導かれる軽いスカラー場の真空期待値などが重いスカラー粒子の質量や相互作用などのパラメーターにどのように依存するかを数値的に調べている。

以上のように学位論文はニュートリノとスカラー場の相互作用を表す小さな湯川結合を有効理論の方法を用いて、重いスカラー場を積分することで導き、量子効果も含めた有効ポテンシャルを導出している。ニュートリノの小さな質量を生み出すメカニズムや標準模型の背後にある模型について研究した優れた研究である。ここで用いた有効理論を導く方法は他の模型の解析にも役立つ。また、より現実的な模型へ拡張することで、将来の新物理探索にも役に立つ研究である。

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

A model with light and heavy scalars in view of the effective theory

A. S. Adam, Y. Kawamura, T. Morozumi

..... PTEP 2022 (2022) no. 1, 013B01

参考論文

Time evolution of lepton number carried by Majorana neutrinos

A. S. Adam, N. J. Benoit, Y. Kawamura, Y. Matsuo, T. Morozumi, Y. Shimizu,  
Y. Tokunaga, N. Toyota

.....PTEP 2021(2021) no.5, 053B01