

論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)	氏名	BENOIT NICHOLAS JAMES
学位授与の要件	学位規則第4条第①・2項該当		
論文題目			
<p>Neutrinos and lepton number oscillations in quantum field theory (場の量子論に基づくニュートリノとレプトン数振動)</p>			
論文審査担当者			
主 査	准教授	両角 卓也	
審査委員	教 授	野中 千穂	
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	
〔論文審査の要旨〕			
<p>ニュートリノの物理はニュートリノのフレーバー振動の発見によって大きな進歩があった。一方、超相対論的な場合のニュートリノ振動の理論に関しては、量子力学に基づいた表式が確立されているが、場の量子論に基づくニュートリノ振動の理論は、多くの提案がなされ、活発な研究分野となっている。</p> <p>本研究は、場の量子論に基づいて、ニュートリノのフレーバー振動現象をレプトン数の振動として定式化した研究である。ニュートリノの種類が弱い相互作用の反応を通じて、同定されることから、ニュートリノの担うレプトンファミリー数を左カイラリティーのニュートリノから構成した。ニュートリノの質量行列とレプトンファミリー数が同時に対角化できないため、レプトンファミリー数は保存せず、対応するハイゼンベルク演算子は、非自明な時間変化をする。本論文は、レプトンファミリー数の期待値の時間発展を研究し、レプトン数の振動現象やマヨラナニュートリノとディラックニュートリノのそれぞれの場合の全レプトン数の破れと保存を明らかにした研究である。レプトンファミリー数の期待値の時間発展は、超相対論的な場合には、量子力学に基づくニュートリノ振動確率に帰着する。</p> <p>博士論文の独創的な点は以下の点である。まず、ディラックニュートリノの場合にレプトン数の表式を導き、マヨラナニュートリノの場合と全レプトン数の時間変化を比較し、その違いを明らかにしている。次に、ニュートリノの持つ運動量とその質量に比べ小さいときにマヨラナニュートリノとディラックニュートリノのレプトン数の振動の違いが顕著になることを明らかにしている。全レプトン数の違いに関しては、初期値として+1のレプトン数から始めたとき、マヨラナニュートリノの場合には±1の間を振動しその符号も変化するのに対し、ディラックニュートリノの場合には、負にはならないことを明らかにしている。さらにこの場合に両方のカイラリティーの全レプトン数の和で定義されるレプトン数は保存することを示している。以上に基づいて、レプトン数の時間変化がニュートリノの質量のタイプや3つのニュートリノの質量階層性によって変わることをあきらかにし、マヨラナニュートリノのレプトン数の時間変化がマヨラナ位相に依存することも明らかにしている。</p>			

さらに、本論文では、ボゴリューボフ変換の方法を用いて、ハイゼンベルク描像からシュレディンガー描像へ移ることで状態の時間変化という観点からレプトン数の振動現象を研究し、1世代の場合に二つの描像で同じ期待値が得られることを示した。

博士論文はニュートリノ振動現象を場の量子論に基づいて定義したレプトン数の振動現象と考えることによって、ニュートリノが非相対論的な時から超相対論的な時まで有効なレプトン数の振動公式を導いた。この論文はニュートリノの質量の型の違いを区別するための重要な理論的な枠組みを与えた。さらに、宇宙論とも関連して、ニュートリノの担う宇宙のレプトン数の時間発展の研究にも影響を与える可能性がある。

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

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 and N. Toyota

• • • • • Prog. Theor. Exp. Phys. 2021,053B01