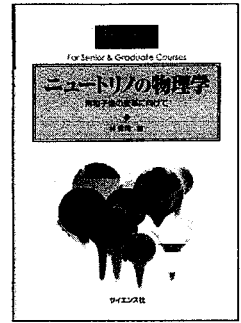


ニュートリノの物理学

素粒子像の変革に向けて

林青司著, B5判, 200頁, 本体2400円, サイエンス社



1998年、日本のスーパーカミオカンデ実験によりニュートリノ振動と呼ばれる現象が発見され、ニュートリノに質量があることが示された。今日の素粒子物理学の重要な目標は標準模型と呼ばれる素粒子の理論を超える物理学の探求である。標準模型ではニュートリノの質量がゼロとされており、スーパーカミオカンデの結果は標準模型を超える物理学に関して重要なヒントを与えていると考えられている。本書はそのニュートリノの物理学に関する入門的解説書である。

本書では、まず第1章で場の量子論や対称性等が、さらに第2章でニュートリノが導入された歴史的経緯、パリティ対称性の破れ、標準模型、フレーバー混合等について基本的事項が簡潔にまとめられている(標準模型については付録にもまとめた説明がある)。

その後第3章からニュートリノについての解説に入り、ディラック型・マヨラナ型質量の違い、小さなニュートリノ質量を説明する代表的な模型が紹介されている。ニュートリノ質量の模型に関しては多くの研究者によって膨大な結果が得られているが、その代表的な模型が要領良くまとめられている。

第4章では2世代間のニュートリノ振動を、第5章で3世代間のニュートリノ振動をそれぞれ説明している。3世代間のニュートリノ振動の議論は、1999年に加速器ニュートリノの長基線実験が開始された頃から理論家の間で盛んに行われるようになった。3世代間のニュートリノ振動の確率は特に物質中では非常に複雑となり、それらの専門的な議論が割愛されているのは、本書のように入門的な性格の書物では適切なことであろうと思われる。

第6章では大気ニュートリノ異常・太陽ニュートリノ問題・日本の長基線ニュートリノ振動実験についての解説が簡潔に与えられている。ちなみに、従来のニュートリノ振動の実験結果は、2世代間のニュートリノ振動の枠組みを仮定した図(x 軸が混合角、 y 軸が質量自乗差)で表されているが、それが正当化できる理由は、2つの質量自乗差の間に階層性があることと、第3の混合角 θ_{13} が小さいことによっている(後者は1997年のCHOOZという原子炉ニュートリノ実験の否定

的結果によるものである)。

現在までのニュートリノ振動に関する実験結果のほとんどは、3世代間のニュートリノ混合、すなわち標準模型+ニュートリノ質量の枠組みで説明できているが、2021年3月の時点で若干の例外があることが知られている(1995年から現在まで続いているLSND実験結果に関する論争、2011年に更新された原子炉ニュートリノフラックスの理論値に関する論争、太陽ニュートリノのガリウム実験の較正結果の2010年に指摘された解釈に関する論争など)。それらについて説明する可能性として、第7章では軽いステライルの仮説と著者が先駆的の仕事をした共鳴的スピンフレーバー歳差について解説されている。

最後に第8章では宇宙からのニュートリノについての説明がある。超新星ニュートリノは1987年のカミオカンデ施設による観測で小柴昌俊先生がノーベル賞を受賞されたことで知られているが、超新星ニュートリノの発生機構について簡明に説明されている。また、南極のアイスキューブと呼ばれる装置が高エネルギー宇宙ニュートリノを観測して近年注目されている。そのニュートリノのフレーバー比率の観測により標準模型を超える物理学を探る可能性についても言及されている。

ディラック型・マヨラナ型質量の違いがニュートリノ振動からでは得られないことの物理的な説明等、本書には所々に著者の優れた洞察が与えられている。また、数学における移項の概念の類推を用いての反粒子の解釈や各章にあるオリジナルな例題は、教員の授業での説明や演習での問題出題にも活用可能であるなど、当該分野を研究している者にとっても参考となる点があり、一読の価値がある書物であると感じられた。

日本語で書かれたニュートリノ物理学に関する書物が少ない中で、本書は学部学生・大学院生・専門分野外の研究者がニュートリノ物理学について学ぶための貴重な解説書となっている。

安田 修 (東京都立大学大学院理学研究科)

BOOK REVIEW