

論文審査の結果の要旨

氏名 南 野 彰 宏

本論文は、暗黒物質の直接探索をめざす一相式液体キセノン検出器の開発について記述したものである。最近の宇宙観測により、宇宙の全エネルギーの約 23% が暗黒物質と推測されている。その暗黒物質の候補としてニュートラリーノが有力視されている。ニュートラリーノは超対称性理論で存在が予言される粒子で、原子核と弱い相互作用を通じて弾性散乱する。この散乱された原子核のシンチレーション光を測定することによりニュートラリーノを直接探索することが可能である。液体キセノンは、発光量が大きい、原子番号が大きい ($Z=54$) ので自己遮蔽能力が高い、発光波形弁別が可能である等の利点をもつため、暗黒物質探索に適している。ただし、その特性を把握することや低エネルギーのバックグラウンドを評価することが必須である。本研究では、将来の大型液体キセノン検出器に向けた技術的問題の洗い出しや特性評価を体系的に行い、さらに試験観測も実行してその結果を解析しているため、非常に意義が大きい。

本論文は 11 章からなる。第 1 章はイントロダクションであり、暗黒物質の存在、その候補となる素粒子およびその検出方法について解説している。銀河の回転曲線問題から示唆された、光を出さずに質量エネルギーのみを持つ未知の物質が暗黒物質と呼ばれるものである。その正体については、通常の観測にはかからない天体や素粒子が候補となるが、本研究では後者に属する超対称性粒子ニュートラリーノを有力候補としてとりあげている。第 2 章にはこれまでに世界で行われてきた暗黒物質の直接検出実験の紹介と得られた実験結果がまとめられている。

第 3 章では、ニュートラリーノの直接検出方法についての詳細な解析があり、検出器の応答が計算されている。つづく第 4 章では液体キセノンの発光特性、第 5 章では液体キセノンの暗黒物質検出への適性が記述され、第 6 章で一相式液体キセノンを用いたプロトタイプ検出器の全体像が示されている。プロトタイプ検出器は神岡地下実験室に設置された一辺が 30cm の無酸素銅製の立方体型チェンバーで、内部に約 90 kg の液体キセノンを導入して測定を行う。液体キセノンのシンチレーション光は、 MgF_2 窓を通して、新たに開発された低バックグラウンド光電子増倍管 54 本により検出する。キセノンは、神岡地下で純化されたものが使われている。

本論文で特筆すべきは、第 7 章に記述されている一相式液体キセノン検出器の

性能評価である。評価項目は大きく分けて4つあり、液体キセノンのガンマ線バックグラウンドに対する自己遮蔽能力、液体キセノンシンチレータの発光量、液体キセノンのシンチレーション光に対する吸収長、光電子増倍管の光量分布を用いたイベントの位置とエネルギー再構成であるが、そのすべてにおいて十分な性能を持つ、あるいはシミュレーションと一致するということが実証されている。さらにプロトタイプ検出器による暗黒物質探査が実行され、その結果が第8章に示されている。暗黒物質に対して得られた制限はこれまでの記録を更新するものではないが、期待された感度を実現しており、一相式液体キセノン検出器が優れた性能を有していることを明らかにした。もちろん問題点が全く無いわけではなく、低エネルギーバックグラウンドが残っているが、それについては将来解決できるという見通しを含めて第9章で議論されている。

プロトタイプ検出器の研究成果をつぎこんだ本格的な暗黒物質探査が第10章で紹介されている XMASS 実験である。XMASS は神岡地下実験施設に設置される 800kg の一相式液体キセノン検出器で、これまでの実験より約 2 桁良い感度で暗黒物質の発見を目指している。最終章となる第11章では、相互作用がスピンに依存しない場合は $62 \text{ GeV}/c^2$ のニュートラリーノに対して $1.70 \times 10^{-5} \text{ pb}$ 、相互作用がスピンに依存する場合は $60 \text{ GeV}/c^2$ のニュートラリーノに対して 6.74 pb の制限を、プロトタイプ検出器による暗黒物質探査の結論としている。

以上のように、本研究により将来の暗黒物質探査実験 XMASS に必要とされる一相式液体キセノン検出器の特性評価が得られたと考えられ、素粒子物理学の進展に貢献が大きいと認められる。なお、本論文は XMASS Collaboration との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び測定を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。