

(論文内容の要旨)

方向に感度を持つという新手法の暗黒物質探索用ガス検出器(マイクロ TPC)のプロトタイプモデルを製作し、神岡地下実験施設にて性能評価および暗黒物質探索実験をおこなった。この論文は以下の 8 章から構成されている。

1. Introduction: 宇宙の質量の 80%以上を占めているといわれる「暗黒物質」について、観測的宇宙論、銀河運動学などが示している存在証拠をまとめ、非バリオン暗黒物質の候補として有力な WIMPs(Weak Interaction Massive Particles)とその探索方法について簡潔にまとめた。
2. Direct detection of neutralino: WIMPs を地球上で観測しその存在や性質を明らかにすることを目的とした”直接探索実験”の観測原理に関して、太陽系の運動と代表的な WIMPs モデルに基づき定量的に考察した。特に方向に感度をもつ直接実験の原理について述べ、従来の季節変動のみによる手法にくらべ、検出器質量当たり 100～1000 倍の感度での WIMPs の検出が可能であることを示した。
3. Review of direct dark matter search experiments: 現在おこなわれている、もしくは過去におこなわれた暗黒物質直接実験について検出器の種類毎に分類し、それぞれの検出原理、観測結果についてまとめた。方向に感度をもつ直接実験において有効な検出器であるガス検出器に関しては最適なガスや必要な位置分解能などについての考察をおこなった。
4. NEWAGE-0.3a detector: 400 μ m ピッチのマイクロパターンガス検出器(マイクロ TPC)をもちいた方向に感度をもつ暗黒物質探索実験である NEWAGE 実験について述べ、そのプロトタイプモデルである NEWAGE-0.3a 検出器の構成および、中性子線源や γ 線源をもちいた性能評価とその結果をまとめた。
5. Pilot runs and background studies in Kamioka mine: NEWAGE-0.3a 検出器を神岡地下実験施設に設置し、検出器の安定動作確認、バックグラウンド評価をおこなった。ここにおいて地上実験との比較より、検出器依存のバックグラウンド事象が多量に存在することを確認した。とくに検出器に微量に含まれていた放射性同位元素からのアルファ粒子が NEWAGE-0.3a において低エネルギー事象に検出されるケースが多数あることを、モンテカルロシミュレーションを用い示した。同時に、外部由来のバックグラウンド事象についてもシミュレーションを用い見積もりをおこなった。
6. Dark matter search in Kamioka mine: シミュレーションにより明らかになったアルファ粒子の検出器依存効果を、検出器のガス増幅パラメータを変更することにより減少することに成功した。そして暗黒物質探索をおこない、得られたスペクトラムおよび方向分布より WIMPs と陽子の断面積に対し上限値 (5400pb@150GeV/c²) を設定した。この上限値は方向に感度をもつ方法としては世界で最も厳しい制限である。
7. Discussion: 今回の暗黒物質探索の性能を制限していたものとして、残存バックグラウンド事象、角度分解能、エネルギー閾値を挙げ、それぞれについて改善方法を提示し改善後の予想感度曲線を作成した。
8. Conclusion: NEWAGE-0.3a 検出器を用い方向に感度をもつ暗黒物質探索をおこない、この方法における感度曲線を更新した。そして暗黒物質検出にむけて改善点を明らかにし、改善方法を明示した。

上記 8 章によって暗黒物質研究の概論から、装置詳細、測定及び解析に関して体系的に論じ、完結した論文となっている。

(論文審査の結果の要旨)

銀河の未知の物質、「暗黒物質」は 1930 年台にその存在が示唆されてから多くの研究がなされてきたが、いまだにその正体は解明されていない。現代の物理・天文学の直面している大きな謎のひとつである。

2000 年以降、米国 NASA の WMAP 衛星による観測結果、X 線観測による銀河団の衝突の観測、重力レンズによる暗黒物質の空間分布など、宇宙論、遠方銀河での暗黒物質の研究は進んできたが、その正体を明らかにする「直接探索実験」は未だその途上である。暗黒物質直接探索実験は、イタリアの DAMA グループが 2000 年頃から観測係数率の年変化によって直接検出に成功したという主張と、それを否定する米国他の数グループの結果が対立を続けており、未だ決着に至っていない。この解決のためには「係数率の年変化」と情報だけでは不十分であり、「暗黒物質の到来方向」まで捉える必要があるという説が直接検出実験が開始された当初から唱えられていた。

申請者の属する NEWAGE グループは、京都大学独自のガス検出器の技術に応用した、到来方向を検出可能な暗黒物質探索実験を推進している。2007 年には方向に感度を持つ世界初の暗黒物質探索実験結果を発表、大きく注目を集めた。2007 年発表の実験は地上の実験室で行われおり、宇宙から降り注ぐ背景事象によって感度は十分ではなかった。感度向上のためには地下実験が必要不可欠であった。また、検出器の理解も改善の余地が残るものであった。

申請者は感度向上のために検出器を岐阜県神岡町の神岡鉱山の地下 1000m の実験室に移設を行い、検出器の応答を詳細に研究した。特に、到来方向を検出するための角度分解の評価実験は秀逸な研究である。また、地下実験室での長期測定を成功させ、無人での安定測定をおこなったことも評価に値する。また、本論文の最大の功績は、検出器内部起源の背景事象の原因特定とその対策にある。多岐に渡る可能性を系統的に考察、測定結果とシミュレーションを駆使して、その原因を推察し影響が最小限になる状況での測定を提唱、実際に観測を行って我々のもつ世界最高感度を更新することに成功した。

以上のようにこの論文では新手法による暗黒物質探索実験を地下実験に於いて遂行、世界をリードする結果を示した。

このように本論文は博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。また論文内容および関連した事項についての試問を行った結果、合格と認めた。