

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	中村 輝石
論文題目	Direction-sensitive dark matter search with a gaseous micro time projection chamber		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>暗黒物質探査は物理学で最も重要な研究対象であり、暗黒物質と原子核との散乱現象を直接捉える手法が最も有力視されている。この論文は其中でも暗黒物質の到来方向に感度をNEWAGE実験の開発および測定結果を述べている。以前に行われた測定を基にその感度を一桁改善した検出器の改良を製作、さらに地下での探索実験を実施、方向探査では世界最高の検出限界を示した。さらに残存雑音の物理考察を行い、今後の改善の方向性を示した。この論文は7章からなる。</p> <p>1. Introduction 宇宙の様々なスケールにおいて暗黒物質が存在する証拠について説明し、暗黒物質の候補粒子を紹介した。</p> <p>2. Method of Direct Dark Matter Search WIMPと原子核の散乱事象を探す直接探索実験の手法について説明した。銀河に付随する暗黒物質の特徴として、銀河中での地球の相対速度が公転で変化することにより僅かながら生じる計数率の季節変動と、銀河中で太陽系が白鳥座方向に進んでいることにより生じる反跳原子核の方向分布の前後非対称性がある。</p> <p>3. Review of Direct Dark Matter Search 世界中で行われている直接探索実験のレビューを行った。一部のグループは季節変動の観測から暗黒物質を捉えたとの報告を行っているが、広く認められた発見には至っておらず、季節変動よりも確度の高い到来方向を測定するという手法が注目されている。到来方向を測定するためには数10keVの反跳原子核の飛跡の方向を検出する必要があり、低圧ガスを用いたガス飛跡検出器が用いられる。</p> <p>4. Detector 本実験用に開発した方向に感度を持つ暗黒物質探索用の検出器「NEWAGE-0.3b'」について説明した。前回と比べ、体積は二倍、圧力は半分であり、エネルギー閾値は100keVから50keVまで下げることに成功した。また、冷却活性炭を用いたガス循環システムを搭載し、バックグラウンドであるラドンを1/50に低減した。さらに、読み出し回路のFPGAの更新により詳細な飛跡情報を取得できるようになり、飛跡の形状の違いからバックグラウンドであるガンマ線事象を効率よく除去する手法を考案した。</p> <p>5. Experiment NEWAGE-0.3b'を用いて神岡地下にて暗黒物質探索実験を行った。前回の測定と比べてバックグラウンドは1/10に減った。0.327kg・daysの測定により、質量200GeVのWIMPに対して557pbの方向に感度を持つSpin dependentな散乱断面積の90% C.L. の上限を得た。これは、世界最良の方向に感度を持つ制限である。</p> <p>6. Discussion バックグラウンドの理解は今後の検出器開発にとって非常に重要である。今回の地下測定の主なバックグラウンド源はμ-PICに含まれるポリイミドに混入しているU/Th系列の放射性元素であることを突き止めた。</p> <p>7. Conclusion 検出器を開発して地下実験を行い、検出上限値を一桁更新、方向性感度としては世界最高の性能を示した。さらに残存バックグラウンドを特定した。今後は低バックグラウンドμ-PICの開発などによりDAMA領域の探索が可能となる。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

暗黒物質は古くは銀河の回転速度異常や銀河団の重力質量とガス質量の違い、さらには近年著しい成果を上げた宇宙マイクロ波背景輻射揺らぎ計測からその存在は確立したと考えてよい。一方その候補は宇宙の一般的なバリオン物質以外であるという制限があるのみで全く不明である。そのため現在、多くの候補が提案され、またその探査実験が盛んに行われている。特に素粒子標準理論の上位理論の最有力候補と考えられている超対称性理論に根ざした未知の素粒子WINP (Weakly Interacting Neutral Particle) が最有力と考えられている。このWINPは銀河に集中し、銀河回転により地球上ではWINPが白鳥座のほうから吹き付けているように見えると考えられ「暗黒物質の風」と言われている。主なWINPの検出手法は、WINPと原子核との散乱をシンチレーション、電離、格子振動などの物理測定で探査する手法が中心である。このような信号は10keV程度と弱く、さらに非常に稀な現象であるため放射線等の雑音との分離が大変困難となっている。そのためすべての測定装置は宇宙線雑音を避けるため地下深くに設置され、さらに低放射線物質を用いないといけな。それでも期待される信号は雑音に比べ大変少なく暗黒物質と確定出来るかどうかは疑問が残る。この実験は暗黒物質の風の方角を捕らえることで一様な方角から到来が予想される雑音との明確な分離を行い、暗黒物質の存在を確定出来る新しい手法を用いた最新の暗黒物質直接探査実験である。この実験は世界で2番目にこの手法を用いた実験であり、2009年に世界初の方角探査法による速手結果を報告した先駆的な実験である。

申請者はこの最初の実験を発展させ、さらに感度を1桁以上改善、前回の実験で不明だった装置内に残る雑音の繊細解析を行うことを目的とした。申請者は検出器本体であるガス3次元飛跡検出器 (TPC) の飛跡検出法を根本的に改善し、以前の半分の50keVの原子核散乱まで感度を実現、さらに飛跡検出および方角を得ることを可能にした。同時に飛跡のエネルギー損失率 dE/dx 変化測定を実現、 dE/dx の飛跡上の変化から散乱点の同定を可能にした。これらの新しい特性をから雑音の主な原因である装置物質から放出されるラドンであることを同定、ガスを低温循環を行いラドンをトラップ除去することを可能にした。

これらの成果を用いて、最初の測定装置よりすこし大きいだけの2号機で10倍の感度を実現、その装置を神岡地下実験所に設置し数ヶ月の観測を行い、方角検出法では世界最高の暗黒物質存在の上限値を更新した。さらに残った雑音がTPC底面の電子検出器 μ PIC由来の α 粒子であることを証明した。

審査では、彼が行った飛跡解析法、ラドン除去法の効率、得られた上限値の物理的意義、さらには新しい雑音源である μ PICの放射線源の原因、この雑音が除去された場合の今後期待される成果について細部に至る議論を行い、申請者がこれらの点で十分な貢献と理解があることが明確になり、今後のこの実験の発展が大変期待できることが審査員に理解できた。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成26年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降