

学位申請論文公聴会

申請者： 浅田貴志

日時： 2017年2月3日（金） 17:00~

場所： 物理会議室（C-207）

題目： 暗黒物質の到来方向検出を可能とする新型超微粒子原子核乾板を用いた
低エネルギー粒子飛跡検出技術の開発

主論文の要旨

宇宙の暗黒物質の存在は、現代科学の重要な未解明問題の一つであり、その直接検出と正体の解明は現在の物理学の重要課題となっている。天の川銀河に束縛されている暗黒物質は、その衝突によって生じる反跳原子核を捉えることで地球上での直接検出が可能であると考えられている。現在稼働中の多くの実験は、地球の公転に伴う相対速度の変化を反応数の季節変動として捉えることで検出を狙っている。しかし、検出したとする実験(DAMA/LIBRA, CRESST 等)がある一方で、その探索範囲を排除した実験(XENON, LUX 等)があり非常に混沌とした状況にある。

申請者は、暗黒物質を直接検出するための実験手法として、暗黒物質の衝突により生じたサブミクロン長の原子核の飛跡を、結晶サイズ 10 nm 級の超微粒子原子核乾板を用いて検出し、その反跳方向に太陽系の固有運動による偏りが見られることを利用する方向性検出の可能性に注目し、その実現のための研究を行った。

期待される反跳原子の飛跡長は 100 nm のオーダーであり、これを飛跡としてとらえるためには結晶サイズ 10 nm 級の超微粒子の原子核乾板が必要とされたが、このサイズの微結晶は容易に凝集・融合してしまいその粒径を長期にわたって保持できないと言う致命的問題があった。申請者はポリビニルアルコール (PVA) が臭化銀結晶の成長を抑えることに着目し、通常用いられるゼラチンと PVA を併用することで安定的かつ制御可能な微粒子結晶の成長/生成を行う新手法を確立し、暗黒物質実験にとって不可欠な超微粒子原子核乾板を実用化し、この課題を突破した。

さらに再現性の検証をおこない、本手法でのサイズは流速のみによって 20-50 nm の範囲で、5 nm 以内の精度で非常に再現性良くコントロールにできることを示した。また暗黒物質標的としての性質を示すために、乾燥原子核乾板状態での元素組成と密度の詳細を測定した。

次に申請者は、開発した超微粒子原子核乾板の実験の実験における検出能力を推定するために、イオン注入装置により原子核乾板に直接低エネルギー粒子を打ち込むことで反跳原子を疑似した飛跡を作成し、較正を行なった。較正にあたり、最も原理的な検出能力を反映する生のフィラメントを直接電子顕微鏡で観測する手法を開発し、光学顕微鏡と一対一対応させることで読み出しシステムの正確な検出応答を測定した。

また、原子核乾板自体の検出機構である、荷電粒子が通過した経路に存在する空間内に離散的に存在する結晶が感光し、現像によって可視サイズの銀フィラメントを生成するという過程をモデル化したシミュレーションを行なった。実際にイオン注入で作成された飛跡を電子顕微鏡で精密測定した結果と比較することでモデルの正当性を検証し、フィラメント長 150 nm のモデルを用いれば様々なエネルギーで実際に測定される飛跡検出を再現することを確認した。

次に、イオン注入での較正結果をもとにしたこのモデルを用いることで、暗黒物質検出を行う際の実効的な検出能力を見積もり、暗黒物質の反応断面積に対する探索能力を評価した。この結果により、超微粒子原子核乾板という方向に感度を持つ検出器を用いた手法で、10 kg 規模の原子核乾板で暗黒物質探索を行えば DAMA/LIBRA が主張する信号領域を探索できることを示した。