

博士論文の要約

原子核乾板を用いた暗黒物質の方向探索実験に向けた解析システムの開発と 検出器開発への応用

桂川貴義

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(DM)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。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(2~3%程度)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, CoGeNT 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。

本研究では原子核乾板を検出器として用いて DM の到来方向に感度を持って検出することで高い信頼性で存在証拠をつかむ事を目指す。原子核乾板は固体飛跡検出器であり大質量化が容易であるという利点を持つが、100 keV オーダーおよびそれ未満の反跳原子核を飛跡として捉えるためには 1 μm を切る飛跡を検出する必要があった。そのため、結晶サイズを従来の 200 nm から 40 nm に小さくしてその記録を可能にした超微粒子原子核乾板(NIT)が先行研究によって開発された。

この NIT の開発によってサブミクロンの飛跡を記録することが可能となったが、実際にその飛跡を読み出すことができなければ検出器として機能させることができない。これには、高速で画像取り込みを可能とし、それに追従してサブミクロンの飛跡を識別可能な新しい解析システムの開発が必要不可欠であった。申請者はこの為に光学ステージ"PTS"と"PTS-2"の開発を行った。これらの装置により取り込んだ画像から楕円状に見える反跳飛跡の形状情報を取り出し、楕円率として飛跡らしさをパラメータ化する解析システムの開発と輝度値に着目して合焦位置をイベント毎に自動で取り出すアルゴリズムの開発を行った。これによりサブミクロン飛跡の全自動読み出しを可能にした。PTS-2 の最終的な到達解析スピードは 2.0 g/10 day である。

次に申請者は、イオン注入装置を用いて 400 keV の Kr イオンを NIT に照射し、X 線顕微鏡(Spring8)を併用した解析手法により飛跡に対する読み出し性能を定量的に評価した。これにより 200 nm 以上の飛跡を 100%の読み出し効率で読み出せることと、200 nm から効率が急激に変化することを示した。また、C イオンのエネルギーを 60~100 keV で振って NIT に照射することで、暗黒物質探索における原子核乾板実験の検出効率を角度分解能とともに実測値として見積もった。サブミクロンスケールでの原子核乾板の角度分解能は重イオン粒子に対して 350 mrad 程度であり、そのほとんどが多重散乱成分であることが確認された。

最後に本研究で測定された検出効率を用いて原子核乾板における探索領域を計算し、10 kg スケールの実験から DAMA 領域に対して検証ができることを示した。