

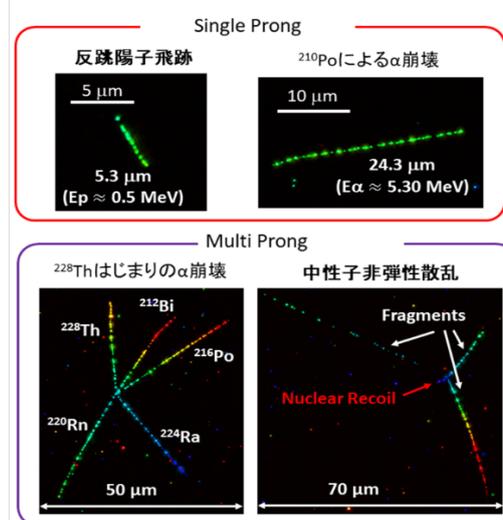
超微粒子原子核乾板による地下環境中性子測定に向けた検出器及び解析システムの開発と改良

赤松咲耶（素粒子物理学教室）

素粒子分野において暗黒物質やニュートリノを伴わない二重 β 崩壊など稀な事象探索実験は主に地下環境で行われている。地下環境中性子はこれらの信号探索における背景事象となりうるため、その理解は非常に重要である。本研究は超微粒子原子核乾板(以下 NIT)を用いた地下環境中性子測定のための手法開発及び改善を行ったものである。NITとは、70nmのAgBr(I)結晶が高密度に分散された構造を持つ検出器であり、入射した中性子が反跳したNIT中の水素原子核(陽子)の飛跡を信号として捕らえることで中性子検出を行う。NITはこの反跳陽子飛跡を約100nmの精度で記録出来る固体飛跡検出器で、飛跡の幾何学的特徴をナノスケールで保持することが出来る検出器である。測定対象となる反跳陽子飛跡は $1\mu\text{m}$ 以下から数 $10\mu\text{m}$ と極短であり、このスケールの飛跡を効率よく収集するためには高速かつ高精度での自動飛跡読み出し系が必須である。これらの要望を満たすべく独自開発した自動読み出し装置と自動飛跡認識アルゴリズムを駆使した測定系を用いた較正を行った。較正は産業技術総合研究所にて880keV単色中性子照射によって記録した反跳陽子飛跡の解析で行った。反跳陽子飛跡の飛程と散乱角度から、提供された中性子エネルギー880keVを31%の分解能で再構成することに成功した。また、検出された事象数は実験環境を再現したセットアップと実際に照射した中性子スペクトルを用いたGeant4シミュレーションから、250keV以上の反跳陽子飛跡において期待される検出数に対し100%無矛盾での結果を得た。達成した読み出し速度は約 $80\text{cm}^3/\text{year}$ であり、従来の10倍以上の速度での読み出しを高精度で行えることを示し、本システムを用いて2021年イタリア・グランサッソ地上環境中性子スペクトル測定を行い、250keV~1MeVの環境中性子スペクトル及び中性子フラックス $(7.6\pm 0.3)\times 10^{-3}/\text{s}\cdot\text{cm}^2$ を得た。さらに、測定エネルギーの低閾値化を目指した検証を行った。その結果100keVの陽子に対して約20%の検出効率を有し、その角度分布は入射陽子の多重電磁散乱とラザフォード散乱によって説明できた。本解析方法によって反跳陽子エネルギー250keVから100keVへの低エネルギー閾値化の可能性を示した。



自動飛跡読み出し装置PTS-4



NITに記録される様々なイベント

*飛跡は深さ方向に対応した色付けをしている

局在表面プラズモン共鳴現象を応用した超微粒子原子核乾板中における荷電粒子識別の研究

森崎 紘明 (素粒子物理学教室)

原子核乾板は、ゼラチン中に 200 nm のハロゲン化銀結晶が分散された構造を持つ放射線検出器である。ハロゲン化銀結晶に荷電粒子が貫通すると電離作用により生じた電子-正孔の対が、潜像核を形成する。潜像核の現像処理によって現像銀が形成される。暗黒物質探索実験のためにハロゲン化銀結晶を数 10 nm に小さくし、高密度に分散された超微粒子原子核乾板 (NIT) が開発された。原子核乾板は高エネルギー粒子による長い飛跡検出に威力を発揮するが、NIT は低エネルギー粒子が作るサブミクロン以下の短い飛跡検出にも威力を発揮する。現像銀の観察には光学顕微鏡が用いられるが、光学顕微鏡の分解能は可視光で 200 nm 程度が限界である。NIT 中の現像銀はせいぜい 100 nm 程度であり、光学分解能の限界以下のサイズである。光学分解能以下の情報を取り出すことは重要であるが、ナノメートルの分解能を持つ電子顕微鏡による観察では時間がかかってしまう。現像銀に対して光学顕微鏡以下の情報を取得するために局在表面プラズモン共鳴 (LSPR) 現象に着目した。金属ナノ粒子に光が入射すると、その金属の形状に応じ、ある波長に対して強い散乱光が発せられる。この現象を LSPR と呼ぶ。現像銀は金属ナノ粒子であるため LSPR により発光する。よって現像銀に対して LSPR を応用した光学分解能を超えた観察の可能性がある。LSPR はナノスケールの形状の差から共鳴波長に違いが生まれるため、様々な荷電粒子が作る現像銀の光学応答に差が生じることが期待される。本研究の目的は NIT 中における現像銀の LSPR を応用した新たな解析方法を開発及び検証し、様々な荷電粒子からなる現像銀の光学情報をパラメータとした機械学習により、それらの識別の可能性を示すことである。まず現像銀の LSPR による散乱光を複数の波長で観察するために、ビームスプリッター、マルチバンドパスフィルタ、プリズムカメラを用いた光学系を組んだ。その光学系の検証を行うために、LSPR の光学応答が既知である金属ナノ粒子の光学情報を観測しその波長スペクトルを取得した。金属ナノ粒子の LSPR の光学応答が反映されたスペクトルが得られ、その光学系で期待したスペクトルが取得できていることを確認した。暗黒物質探索実験で NIT 中に含まれる放射性同位体による電子事象は背景事象となり NIT に含まれる C, H 反跳事象は信号となる。よって、炭素事象-電子事象識別と陽子事象-電子事象識別は暗黒物質探索実験において有用である。それらの疑似事象となるサンプルを作成しそのスペクトル形状の差を観測した。機械学習による識別から、炭素事象-電子事象識別では疑似信号事象数を 71%維持しながら疑似背景事象を 91.2%除去できることが分かった。陽子事象-電子事象識別では疑似信号事象数を 94%維持しながら、疑似背景事象を 97.6%除去できることが分かった。以上の結果から、NIT 解析情報の増加を可能にし、個々の現像銀による荷電粒子識別の新たな手法の展開を示した。

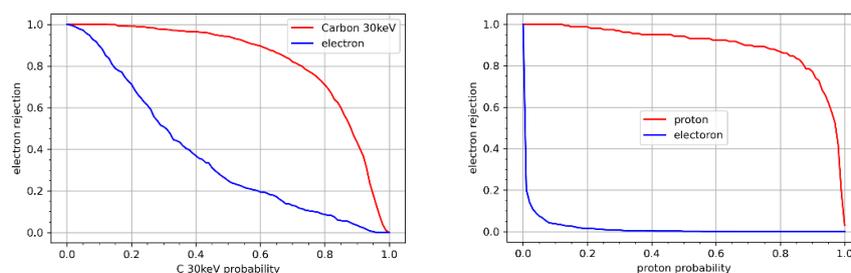


図1 左図が炭素事象-電子事象、右図が陽子-電子事象の efficiency curve