

論文要旨

氏名 木村 充宏 ㊞

論文題目

精密フォトマスクを用いた原子核乾板の歪み補正法の研究

論文要旨

原子核乾板はサブミクロンの位置分解能を有する三次元位置検出器である。原子核乾板は素粒子物理学黎明期より用いられてきたが、顕微鏡を通して飛跡を観察する必要があり、測定、解析に膨大な労力が必要であった。また蓄積型検出器であるため乳剤塗布加工直後から宇宙線のようなバックグラウンドトラックを蓄え続けるという問題がある。これらの問題は飛跡読取の全自動化、原子核乾板の改良によって解決されたが、未だ解決されていない問題が存在する。それは乾板の変形である。

原子核乾板は荷電粒子が通過した跡に残る潜像を現像処理によって銀粒子として可視化することで観察する。現像によって乳剤層中の感光していない臭化銀結晶は外部へ排出されるため乳剤層の厚さは約半分に収縮し、乾板を変形させる。その結果、飛跡の相対位置関係をサブミクロンで維持することができない。変形の大きさは数 cm に対して $10\mu\text{m}$ 程度である。乾板が持つサブミクロンの位置分解能をそのまま活用できるのは顕微鏡数視野(一視野= $150\mu\text{m} \times 120\mu\text{m}$)程度の狭い領域に限られる。変形は乾板相互の対応関係(アライメント)を悪化させ、飛跡の位置変位から運動量を測定する方法の誤差成分となる。従来は変形による影響を最小限に抑えるため、高エネルギー粒子を高密度($1\sim 2$ 本/ mm^2)に入射させた。測定したい飛跡の近傍に高エネルギー粒子が存在すれば、その飛跡を基準に対象飛跡の位置を測定することで変形の影響を無視できる。しかしこの方法には測定対象の飛跡と平行に走る高エネルギー粒子が必要であること、そのための高エネルギー粒子の照射によりバックグラウンドトラックを作るという欠点が存在する。

本研究では変形が無視できる状況をつくるのではなく、取り除くというアプローチを採用した。その方法は現像前の乾板に対し位置の基準となる基準マークを焼き付け、測定時に飛跡とともに最寄りの基準マークの位置を取得し、オフラインで飛跡位置の補正を行う。位置の基準となるため基準マークを焼き付けるマスターはフォトマスクとして製作した。その製作、寸法精度は $\pm 0.1\mu\text{m}$ である。フォトマスクによって 12.7cm 四方に 1mm 間隔に $5\mu\text{m}$ 角の正方形のマークを焼き付けられる。ビーム照射直後にフォトマスクを焼き付けられるよ

うに組立式の持ち運び可能な露光装置を開発した。また焼き付けた基準マークの中心位置を全自動測定するプログラムを開発し、測定した基準マークの位置情報を使って飛跡位置を補正する処理工程を確立した。

フォトマスク補正処理により実際に運動量測定精度が向上するか CERN(欧州原子核研究機構)にてビーム照射実験を行った。ECC brick(原子核乾板と鉛 56 枚ずつ交互に積層した検出器)に対し、運動量 30,40,150GeV/c の μ 粒子を角度を変えて照射した。照射後暗室に移動し、ECC brick を解体、乾板ごとにフォトマスクを焼き付けた。現像はイタリア国立グランサッソ研究所にて行った。測定、解析は東邦大基礎物理学教室にある UTS を使用した。乾板全面に対し測定領域を設定し、飛跡、基準マークの測定を行った。測定後、多重電磁散乱による位置変位量を算出した。その結果、フォトマスクを使用する前と比べて電磁散乱による位置変位のシグナルは維持されながら、測定ノイズが $2.2\mu\text{m}$ にまで改善できることがわかった。これは乾板全面においてサブミクロンの飛跡位置測定精度が達成できたことを意味する。

本手法を OPERA 実験に適用し $\tau \rightarrow h$ の運動量を測定する。ECC brick 中央でニュートリノが反応した場合、角度差法による運動量測定を行える範囲は 5GeV/c 未満である。一方、位置変位法にフォトマスク補正を使用した場合、15GeV/c まで測定できる。これは運動量測定できるハドロンの割合が 69%から 99%に改善できることを示し、 τ の検出効率が大きく向上することがわかった。