

報告番号

* 第 3764 号

主論文の要旨

題名 Double-side Coated Thick
Nuclear Emulsion Sheet for the Hybrid
Emulsion Experiment.

「ハイブリッド実験における
厚型両面塗布原子核乾板」

氏名 星野 香

主論文の要旨

報告番号	※巻第	号	氏名	星野 香
<p>高エネルギー素粒子実験のなかで、クォークを含む基本的階層の物理法則を明らかにする上で重要な課題として進められたチャーム粒子やビューティー粒子の直接検出研究を成功させるために、我々が開発した全く新しい厚型両面塗布原子核乾板の製作、処理、使用法および実用成果をとりまとめた。</p> <p>チャームやビューティーなど重いクォークを含む素粒子の寿命は、$10^{-12} \sim 10^{-14}$ 秒と極めて短いので、その直接観測研究を行うためには空間分解能 $\sim 1 \mu\text{m}$ をもつ原子核乾板は不可欠の検出器である。しかし、原子核乾板内の反応を高倍率の顕微鏡で検出測定する旧来の作業方法は非能率であるため、空間分解能では劣るが反応の選別能力に優れた、エレクトロニクスの測定器と組み合わせて用いるハイブリッド実験法が採用された。しかし、外国で行われた初期のハイブリッド実験では、発見効率が極めて低く目的達成には程遠かった。</p> <p>我々はその主要な原因が旧来のペリクル型原子核乾板の使用にあることを突き止め、その欠点を克服するために薄いフィルム両面に原子核乳剤を厚く塗布し、それを積み重ねたスタックをハイブリッド実験の標的とし、乾板面に対して垂直に入射ビームを露出する方法を開発した。ペリクルが反応の全貌をとらえる、いわゆる 4π 型検出器として利用されるのとは異なり、原子核乾板を空間分解能 $1 \mu\text{m}$ の 3 次元飛跡検出器として用いるという、発想の転換を行ったのがこの方法の特徴である。現像処理された乾板を高倍率の対物レンズを使って観察する時、顕微鏡の焦点面がカウンターの X-Y 平面と平行であるため、カウンターとの相性が非常に良く、また、半自動・全自動解析システムを用いて反応の検出・測定等の作業能率を飛躍的に高めることが容易である。</p> <p>厚型両面塗布原子核乾板を製作する際には、$70 \mu\text{m}$ のポリスチレンフィルムを使い原子核感光乳剤には富士の ET-7B を片面の厚み $330 \mu\text{m}$ になるように塗布した。ベースの厚みを薄くしたのは、ベースによって短寿命粒子の崩壊点が見えなくなる割合を最少に</p>				

するためである。現在では、同じベースの上に乳剤の厚さを $500\mu\text{m}$ まで塗布した厚型両面塗布原子核乾板を実用化し、大きさでは $25 \times 25 \text{ cm}^2$ までを実際の実験に使用している。

膜が厚い原子核乳剤の塗布は、水平で平らな面にフィルムを張り付け、角棒で囲った中に加温して流動性を持たせたゲルを流し込み、温度が下がりセットしてから、乾燥棚の中で温度 $\leq 20^\circ\text{C}$ 、湿度 $\geq 80\% \text{ RH}$ そして風速 $\sim 0.5 \text{ m/s}$ の条件で乾燥させる。これで得られる乾燥率は $4 \text{ mg/cm}^2\text{h}$ であるが、このようにゆっくり一様に乾燥させるのが飛跡の歪が少ない質の良い乾板を得る条件の一つである。残りの面についてもほぼ同様の操作をくりかえし、厚型両面塗布原子核乾板を得ることができる。塗布するゲルは重量比で 0.3% の正確さで計り取り、塗布台の平面性を塗布直後の厚みに対して約 1% にした。出来上がった乾板の厚みの標準偏差が $2\sim 3\%$ になるのは、空気中での乾燥を一様にするのが難しいためである。

両面とも塗布乾燥した厚型両面塗布原子核乾板は、実験の目的により適当な大きさに裁断し、積み重ねてスタックを作り標的として使用する。FNAL E531 実験では、金型で組立用の穴も同時に開ける方法で整形し、精密なスタックの組立精度 ($2 \sim 30\mu\text{m}$) を得たため、乾板から乾板へ移る解析能率を良くすることが出来た。また、入射ビームへの露出を乾板面に垂直に行うため、多重ラミネート紙を使った真空包装法でスタックを締め付け、標的とその前後の物質量の比を 0.3% 以下にし、バックグラウンド現象を極端に減らした事も解析速度の向上をもたらした。このラミネート紙は酸素や湿気を遮断しているため潜像退行の防止にもなっている。

厚型両面塗布原子核乾板の現像処理は、低温 (5 あるいは 10°C) の恒温処理法を採用した。この処理法は各処理液の調剤も含めて、特に歪の発生を抑えることに眼点をおいた方法である。ただし、温度を一定に保つのを定着処理までとし、水洗処理の水温が 20°C 以下の場合には水の温度をコントロールする必要を無くし処理設備を簡素化した。 10°C 3 時間の現像条件で処理することにより、最少電離荷電粒子の飛跡 $100\mu\text{m}$ 当りのプロップ数として、飛跡の認識にとって必要かつ十分な $27 \sim 28$ 個を確保した。

チャーム粒子やビューティー粒子のような発生頻度が少ない現象を研究するには、大量の反応を集めなくてはならないが、標的である原子核乾板を数十リットルにすることで、目的とする現象を乾板中に記録させることは簡単に出来る。しかし、カウンターで選別された現象は、積層された乾板にまたがって記録されているため、顕微鏡の載物台に乾板を載せ変えて解析するが、これが E531 実験での解析スピードを制限することになった。そこで、次の CERN WA75 実験では、面積の大きな(25 X 25 cm²)スタックの各乾板を、現像処理後に両端の 5 mm を除き 64 個の面積 3 x 3 cm² のミニスタックに分け、各ミニスタックの乾板を一枚のプラスチック板に張り付け、平行移動で前後の乾板に移ることが出来る様にした。このミニスタック法の開発により、1分以上要した乾板乗り換え時間を数秒に短縮できた。

荷電粒子飛跡の測定能率向上を妨げる要因の一つとして、原子核乾板の塗布乾燥および現像処理乾燥の際に発現する飛跡の歪があげられる。厚型両面塗布原子核乾板を用い乾板面にビームを垂直に露出させる場合は、乾板の深さが同じ平面上での飛跡間の相対的距離は、激しい歪でない限り、数 mm² の範囲では変化しないため 2 次粒子の相対位置および角度の測定には影響が少ない。これは両面塗布原子核乾板垂直照射法の利点の一つである。

我々が開発した、全く新しい厚型両面塗布原子核乾板を採用することにより、フェルミ研究所で行ったニュートリノにより生成されたチャーム粒子の研究 FNAL E531実験では、反応の検出効率 90 %以上を達成し、チャームの種類別寿命を世界で初めて決定するなど重要な成果をあげることが出来た。原子核乾板を標的とするハイブリッド実験で、厚型両面塗布原子核乾板を使った場合、FNAL E531実験ではペリクルよりも中性チャーム粒子の発見効率が高く、CERN WA75実験でもチャーム粒子検出の割合は、ペリクルよりも多いという成果をあげた。これらの成果により優位性が確認されたので、厚型両面塗布原子核乾板を用いる方法はハイブリッド実験の主流となり、現在では FNAL E653 実験、日本の KEK E176 実験等がこの方法で行われ解析が進行中であり、また、更に大規模な $\nu_{\mu} - \nu_{\tau}$ 振動法によるニュートリノ重量の測定実験が計画されている。