

論文要旨

氏名 福島 知佳 印

論文題目：ニュートリノ・反ニュートリノ反応識別のための薄型エマルシオンスペクトロメーターの基礎研究

(英訳) Study of a thin emulsion spectrometer for identification of neutrino and antineutrino interactions

論文要旨：

ニュートリノという素粒子は、1930年にパウリにより予言されて以来、3種類存在して左巻きで弱い力が作用することがわかっただけで、その質量に関しては全く謎であった。素粒子物理学の標準理論では0と仮定されていた。しかし、ニュートリノが有限質量を持ち、この3種類の香りの固有状態 ν_f ($f = e, \mu, \tau$) が質量の固有状態 ν_j ($j = 1-3$) の重ね合わせとして表わされると、伝播するとき各質量固有状態は別々に時間発展するのでその混合比が変わり別の香りの状態が混入する。近年、このニュートリノ振動と呼ばれる現象の研究が進められ、ニュートリノは極めて小さい質量を持つことが明らかになった。今後はさらなる質量の定量的精密測定とその混合角測定が望まれている。また、クォークと同様にCP対称性が破れている可能性が考えられ、ニュートリノ反応と反ニュートリノ反応の識別が重要な意味を持つことになった。

エマルシオンは高い空間分解能を持つゆえに τ のような短寿命粒子の観測に最適である。実際、DONUT実験の ν_τ の荷電カレント反応初観測により、エマルシオン検出器は ν_τ 反応からの τ の検出・同定が行えることを現実に示した唯一の検出器となった。この検出器はエマルシオン・クラウド・チェンバー (ECC) と呼ばれ、密度の大きな金属板とエマルシオンフィルムとの積層構造を持つ。このECC中では ν_e, ν_μ, ν_τ の荷電カレント反応から生成される荷電レプトン (e, μ, τ) の振る舞いが異なるので、レプトンの種類識別が可能であり、したがってその反応の親であるニュートリノの種類を識別することができる。さらに、このECCを磁場中に挿入して、ニュートリノ反応

から生成される荷電レプトンの曲がり測定して電荷符号を決めれば、ニュートリノ反応と反ニュートリノ反応の識別までもが可能と考えられ、6種類すべてのニュートリノを識別できることになる。現実には、ECC 中では多重散乱による粒子軌跡のぶれがあるため、この悪影響を最低限に抑え、かつ大角度に放出された粒子にも対応できるように、薄型のエマルシヨンスペクトロメーターを作製し、ECC と交互に組み合わせたものを1つの検出器とする必要がある。ECC 標的で起きたニュートリノ反応から放出されたレプトンの電荷符号と運動量を後続のスペクトロメーターで測定し、すべての種類のニュートリノ反応の識別を実現する。

本研究では、核破碎粒子の同位体同定や QGP 探索を目的として種々のエマルシヨンスペクトロメーターを作製した経験を生かして薄型エマルシヨンスペクトロメーターを製作し、KEK PS で $0.5 \text{ GeV}/c$ から $2.0 \text{ GeV}/c$ の π^\pm ビームを照射し、粒子の電荷符号の識別と運動量の測定を行うことによりその性能を検証した。その結果、 $2.0 \text{ GeV}/c$ 以下の荷電粒子においてその電荷符号の決定の有意性は、 7σ 以上を達成しており、測定されたサジッタと運動量には良い相関が見られた。また、サジッタ s [m]、素電荷の大きさを単位にした電荷 z 、磁束密度 B [T]、運動量 p [GeV/c] の関係式 $s = 0.3zB/8p$ から全長 30 mm の薄型スペクトロメーターの運動量分解能は、

$$\sigma_s/s \sim \sigma_p/p = \sqrt{(0.133)^2 + (0.025 \times p [\text{GeV}/c])^2}$$

と得られた。この結果は3層構造の薄型エマルシヨンスペクトロメーターが電荷符号の決定と運動量測定に関して良く機能することを明白に示しており、現在稼働中の長基線ニュートリノ振動実験 OPERA にこの3層スペクトロメーターを適用するならば τ の崩壊モードの約 51% を占める負電荷のハドロンへの崩壊事象のうち約 95% を解析可能にできることがわかった。また、ニュートリノの質量と混合角の精密測定を目指した将来のニュートリノ実験のハイブリッドエマルシヨ検出器への応用が期待できる。