

氏 名 お 小 沢 恭 一 郎
 学位(専攻分野) 博 士 (理 学)
 学位記番号 理 博 第 2386 号
 学位授与の日付 平 成 13 年 7 月 23 日
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
 研究科・専攻 理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
 学位論文題目 Study of p/ω meson mass modification in nuclear matter
 (核物質中における p/ω 中間子の質量変化の研究)

論文調査委員 (主 査)
 教 授 今 井 憲 一 教 授 西 川 公 一 郎 助 教 授 坂 口 治 隆

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、核物質中における p/ω 中間子の質量の変化を観測した実験の結果について述べたものである。この実験は、有限密度下でのベクトル中間子の有効質量の変化を測定することで、カイラル対称性の部分的回復やQCD真空の性質についての実験的知見を得ることを目的としている。実験では、12GeVの陽子ビームを用いて、3種類の原子核標的の中で p , ω , ϕ 中間子を生成し、その電子崩壊と K 中間子崩壊の不変質量分布を測定した。原子核標的には、ポリエチレン、炭素、銅を使用した。実験的には、軽い原子核標的(ポリエチレン、炭素)と重い原子核標的(銅)の不変質量分布を比較することで、原子核による質量変化の効果の有無を探索する。理論的にはQCD和則を用いた計算があり、それによると、原子核密度を持つ物質中で p , ω 中間子の質量が $180\text{MeV}/c^2$ 程度軽くなることが予想されている。

本申請論文では、1998年に収集したデータより得られた電子崩壊モードの結果について報告している。電子崩壊の測定は、ドリフトチェンバー、ガステレンコフカウンター、電磁カロリメーターによって行われた。電子の同定は、閾値型の検出器を2段にかけることで、実装した。前段部分は、アクセプタンス全体で、ガステレンコフカウンターを用いた。後段には、 K 中間子のアクセプタンスと重なる部分にはガステレンコフカウンターを用い、それ以外は電磁カロリメーターを用いた。最終サンプルへのパイ中間子の含有率として13%、パイ中間子の排除率として、 3.9×10^{-4} の値を得た。粒子の運動量測定は、ドリフトチェンバーによって、磁場中での粒子の軌跡を同定することで行った。Cylindrical Drift Chamber (CDC) と、Barrel Drift Chamber (BDC) の2種類の軌跡検出器を製作した。CDCは、構造として階段状の3段のすり鉢型のエンドプレートを持つことで、中心に近いワイヤのワイヤ長を短くし、それによりアクセプタンスに合った有感領域を実現した。また、配線作業の簡略化と小さなセルの実現のために、配線パターンをエッチングしたセラミックプレートをアルミフレームにはめ込み、導体のフィードスルーでワイヤを取り付ける方法を採用した。分解能は同時に測定したデータより、ラムダ粒子と K 中間子の崩壊を同定することで評価した。その結果、 ω 中間子の電子崩壊の質量分解能で、 $9.6\text{MeV}/c^2$ の値を得た。

最終的に得られた電子対の不変質量分布において、 ω 中間子の明瞭なピークと ϕ 中間子のピークを軽い原子核標的と重い原子核標的の両方の標的で観測することに成功した。バックグラウンドの評価をヒストグラムをフィットすることで行い、最終サンプル中に、軽い原子核標的においては、 75.5 ± 9.0 個の ω 中間子と 7.4 ± 5.8 個の ϕ 中間子を、重い原子核標的においては、それぞれ 20.0 ± 4.8 個の ω 中間子と 5.2 ± 2.7 個の ϕ 中間子を同定した。

軽い原子核と重い原子核の不変質量分布を比較すると、重い原子核標的の分布には ω 中間子のピークより軽い側の領域で、既知の物理プロセスから予想されるスペクトラムとの違いが観測された。これをヒストグラム上でフィットを通じて $550\text{MeV}/c^2$ から $750\text{MeV}/c^2$ の部分で評価したところ、軽い標的で 19.6 ± 11.7 個、重い標的で、 29.5 ± 8.7 個となった。重い標的での違いは、統計的に有意である。また、 ω 中間子の個数に対する比は、それぞれ、 0.26 ± 0.16 と 1.48 ± 0.56 となる。この差は、原子核の大きさの違いを起源とするものだと考えられる。このスペクトラムの違いに対する自然な説明は、

p , ω 中間子の質量分布が原子核中で変化したと考えることである。また、理論的な予想とも矛盾しない。

本研究では、以上のように、原子核中でのベクトル中間子の変化に関する情報を引き出すと共に、あらたに開発、建設された実験装置についても論じている。

論文審査の結果の要旨

カイラル対称性は質量の起源と関係して QCD の重要な性質と考えられている。理論的には高温または高密度の核物質中でカイラル対称性が回復すると思われており、通常の核物質密度でもその効果が現れるとも予想されている。もしそのようなことが起ると、核物質中でベクトル中間子の質量が変化すると考えられる。しかし現在までその実験的証拠は見つかっていない。

本申請論文は、この問題を明らかにするべく核物質中における p , ω 中間子の質量の変化をその電子対崩壊の測定から調べようとしたものである。このために、12GeV 陽子を軽い原子核 (C, H) と重い原子核標的 (Cu) にあてて p , ω 中間子を生成し、その崩壊粒子を大型電磁石を用いたダブルアームスペクトロメーターで測定した。大強度の陽子ビームを用いる必要があり、検出器はすべて高計数率に耐えるものでなくてはならない。このため本申請論文ではセラミックプレートを利用した fine segment の Cylindrical Drift Chamber を開発して使用し、不変質量分解能としても ω で $9.6\text{MeV}/c^2$ というこの種の実験としてはこれまでにない性能を得ることに成功している。また電子対崩壊は稀な崩壊過程であり、電子対のクリーンな同定は極めて難しい。この点も申請論文ではガスチェレンコフカウンターや電磁カロリメーターを使ってパイ中間子の排除率として 3.9×10^{-4} 、最終電子対サンプルでのパイ中間子の含有率として 13% を得ており、十分な性能を達成しているといえる。

結果として得られた電子対の不変質量分布では、 ω のピークが軽い原子核標的と重い原子核標的ともにきれいに観測されている。これは原子核を標的とした実験では世界ではじめてのことであり、実験技術的な成果としても高く評価できる。さらに軽い標的と重い標的の不変質量分布を比較して、重い原子核標的の分布では ω 中間子の質量より軽い 550 から 750 MeV $/c^2$ の領域で、統計的に有意な、Dalitz Decay などの既知のプロセスでは説明できない event があることをしめした。申請論文では background などを含む fitting を行いそれぞれの標的でのこの event 数を求めている。そしてこれらの event は、 p , ω 中間子が核内で質量変化したものが核内で崩壊したものであるとして、QCD 和則を用いた初田らの理論的予測と矛盾しないことを示している。

本申請論文は、大立体角高分解能の電子対スペクトロメーターの製作に成功し、通常の核物質密度でのカイラル対称性の部分的回復という問題に対して、はじめて positive な実験的結果を与えたものとして評価できる。

なおこの申請論文の主な内容は、Physics Review Letters 誌に掲載されている。よって、本申請論文は博士 (理学) の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。