



TITLE:

Evidence for in-medium
modification of the ϕ meson at
normal nuclear density(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Muto, Ryotaro

CITATION:

Muto, Ryotaro. Evidence for in-medium modification of the ϕ meson at normal nuclear density. 京都大学, 2007, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2007-03-23

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/136956>

RIGHT:

氏名	むとうりょうたろう 武藤亮太郎
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	論理博第 1477 号
学位授与の日付	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Evidence for in-medium modification of the ϕ meson at normal nuclear density (通常原子核密度下における ϕ 中間子の質量変化に対する証拠)
論文調査委員	(主査) 教授 今井 憲一 教授 笹尾 登 教授 谷森 達

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、原子核密度中でのベクター中間子の質量分布の変化の測定に関するものである。そのため高エネルギー加速器研究機構において実験を行い、12 GeV 陽子シンクロトロンを用いた 12 GeV p+A 反応によって ϕ 中間子を原子核標的内に生成し、その崩壊生成物である電子・陽電子対の不変質量分布を測定した。ベクター中間子の質量はカイラル対称性の回復にともない原子核密度中で減少すると予想されているが、実験的にはいまだ確立されておらず、特に ϕ 中間子については質量変化を観測することに成功した例は無い。

不変質量分布の原子核の大きさに対する依存性を調べるため、標的としては炭素(小さな原子核)と銅(大きな原子核)を用いた。 γ コンバージョンによるバックグラウンドを減らすため、放射長約0.5%の非常に薄い標的を用い、高輝度の陽子ビームを照射して実験を行った。また、原子核内で崩壊する確率の大きい、速度の小さい ϕ 中間子を効率よく収集するため、大立体角を持つスペクトロメータを EP1-B ビームラインに建設した。電子・陽電子は、ガスチェレンコフ検出器と鉛ガラス電磁カロリメータで構成された2段または3段の検出器群により同定された。鉛直方向0.71テスラの磁場中に設置されたドリフトチェンバーを用いて測定した運動量から、電子・陽電子対の不変質量分布を得た。 ϕ 中間子の速度 $\beta\gamma_\phi$ によってデータを3つの領域 ($\beta\gamma_\phi < 1.25$, $1.25 < \beta\gamma_\phi < 1.75$, $1.75 < \beta\gamma_\phi$) に分け、各速度領域において真空中での崩壊についての予測質量分布とデータとの比較を行った。その結果、銅標的を用いたデータにおいて、速度の小さい ϕ 中間子 ($\beta\gamma_\phi < 1.25$) を選んだ場合、予測質量分布に対して統計的に有意な超過が ϕ 中間子のピークの低質量側に観測された。一方、銅標的の速度の大きなデータ ($\beta\gamma_\phi > 1.25$) と、全ての速度領域における炭素標的のデータにおいては、 ϕ 中間子の質量分布は予測される分布でよく再現された。この観測事実は、超過部分が原子核内での質量変化によって起きていることを強く示唆している。なぜなら、大きな原子核内で生成された速度の小さい ϕ 中間子ほど原子核内で崩壊する確率が大きく、原子核内での質量変化の影響を受けやすいからである。我々は観測された質量分布を再現するために、原子核内での質量変化を取り入れたモデル計算を行った。 ϕ 中間子の質量減少と全崩壊幅 (Γ_ϕ^{tot}) の増加について、線形の原子核密度依存性を仮定し、電子陽電子崩壊に対しての部分幅 (Γ_ϕ^{ee}) については、以下の2つの極端な場合を仮定した。(i)崩壊比 $\Gamma_\phi^{ee} / \Gamma_\phi^{\text{tot}}$ が原子核内で変化しない。(ii)部分幅 Γ_ϕ^{ee} が原子核内で変化しない。(ii)の場合を仮定すると、銅標的の $\beta\gamma_\phi < 1.25$ のデータを再現することができず、データは(i)を支持することが明らかになった。解析の結果、通常原子核密度において3.4%の質量減少と3.6倍の崩壊幅の増加が起こるとした場合に最もよくデータを再現することができた。これは、 ϕ 中間子の質量分布の原子核物質中での変化を実験的にとらえた最初の結果である。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本申請論文は、12 GeV 陽子—原子核反応において生成される ϕ 中間子を e^+e^- 崩壊によって測定し、原子核密度中の質量変化を調べようとしたものである。実験の動機は、原子核中でカイラル対称性の部分的回復が起こるという Hatsuda-Lee の理論的予測を検証するというものである。すでに申請者らは、 ρ と ω 中間子の生成においてカイラル対称性の部分的

回復による質量の変化を観測した発表している。しかしそもそも ρ の幅がひろいことや ρ と ω の干渉効果の問題などがあり、このことを確立していくためには他のベクトル中間子についても調べる必要がある。そのため本申請論文は、原子核中で生成された ϕ 中間子の質量スペクトルを測定し、はじめて質量変化をしめすデータをえたことは、カイラル対称性の回復という重要な問題の研究大きな寄与を与えたものと評価できる。

この実験は KEK の陽子シンクロトロンからの 12 GeV の陽子を直接引き出して、炭素と銅の薄い標的にあて、生成される中間子をその e^+e^- 崩壊によって検出するという非常に難しい実験である。ビーム強度が非常に高いこと、 e^+e^- への崩壊分岐比が非常に低く大きな立体角のスペクトロメーターが必要なこと、大量の中性 π 中間子や γ 線に起因する電子陽電子のバックグラウンドがあること、など克服すべきことは多い。申請者らは長期間にわたりビームラインや検出器の調整を行い、 e^+e^- のスペクトルにきれいな ω と ϕ のピークを見出すことに成功した。これまでのこの種の実験に比べて S/N の格段に高いピークを観測したことは高く評価できる。さらに申請者はデータ解析において磁場や各種検出器の較正を注意深く行い、高い分解能の質量スペクトルを得ることに成功し、その幅や形について十分議論できるレベルのデータを得たことは、世界ではじめてのことであり評価に値する。

申請者は、各速度領域において真空中での崩壊についての予測質量分布とデータとの比較を行った。その結果、銅標的を用いたデータにおいて、速度の小さい ϕ 中間子 ($\beta\gamma_\phi < 1.25$) を選んだ場合、予測質量分布に対して統計的に有意な超過が ϕ 中間子のピークの低質量側にあることを見出した。原子核中で中間子の質量と崩壊幅が変化すると仮定して、炭素および銅標的の 3 つの速度領域のデータをフィットした。この解析の結果、通常原子核密度において 3.4% の質量減少と 3.6 倍の崩壊幅の増加が起こるとした場合が最もよくデータを再現することを見出した。申請者の得た結果は、原子核中での ϕ 中間子の質量変化を示唆しており、定量的にも Hatsuda-Lee の原子核中でのカイラル対称性の部分的回復による質量変化の予測とよく一致している。原子核中でのハドロンの性質の変化とカイラル対称性の回復という問題に大きな一石を投じた研究として高く評価できる。

なおこの実験の主要な結果については、すでに Physical Review Letters 誌に掲載されることが決まっている。

よって本申請論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、論文内容と関連研究分野に関する試問を行った結果、合格と認めた。