

氏 名	佐 久 間 史 典
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 3190 号
学位授与の日付	平 成 19 年 5 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	Nuclear-matter modification of decay widths in the $\phi \rightarrow e+e-$ and $\phi \rightarrow K+K-$ channels studied in 12 GeV p+A reactions (12 GeV p+A 反応を用いた、 $\phi \rightarrow e+e-$ 及び $\phi \rightarrow K+K-$ チャンネルの原子核物質中における崩壊幅の変化についての研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 笹 尾 登 准教授 中 家 剛

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、KEK-PSで行われた12GeV p+A反応を用いて $e+e-$ 対及び $K+K-$ 対の不変質量分布を測定する実験(E325)とその結果に関するものである。本実験の最終目標は、通常原子核密度の下でのカイラル対称性の部分的回復に伴う、ベクター中間子のスペクトラル・シェイプの変化をとらえることである。また、 $\phi \rightarrow e+e-$ 崩壊及び $\phi \rightarrow K+K-$ 崩壊の原子核依存性を調べるにより、部分崩壊幅の比 $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K-}/\Gamma_{\phi \rightarrow e+e-}$ の核物質中での変化の可能性を調べる。この部分崩壊幅の変化は、 ϕ 中間子もしくは K 中間子の核物質中でのスペクトル関数の変化によってもたらされると理論的に予想されている。

E325 スペクトロメーターは、遅く動くベクター中間子の $\rho \rightarrow e+e-$ 、 $\omega \rightarrow e+e-$ 、 $\phi \rightarrow e+e-$ 、 $\phi \rightarrow K+K-$ 崩壊を同時に測定するために、KEKの高強度1次ビームラインに新しく建設された。このスペクトロメーターの質量分解能は $\phi \rightarrow e+e-$ で $10.7\text{MeV}/c^2$ 、 $\phi \rightarrow K+K-$ で $2.1\text{MeV}/c^2$ を達成しており、不変質量分布の変化を詳細に測定することが出来る。データ収集は1997年から2002年にかけて行われたが、本論文で解析に用いているデータは、 $e+e-$ 崩壊については2001及び2002年、 $K+K-$ 崩壊については2001年に収集されたデータを用いた。2001/2002両年とも、原子核標的として炭素(C)及び銅(Cu)標的を用いてデータ収集を行った。

観測された $K+K-$ 不変質量分布は、相対論的ブライト・ウィグナー分布とコンビナトリアル・バックグラウンド・シェイプで良く再現できた。我々は $\phi \rightarrow e+e-$ の不変質量分布において、重い標的(Cuターゲット)で、かつ、遅く動く領域($\beta\gamma < 1.25$)で不変質量分布の変化を見いだしているが[Phys. Rev. Lett., 98,040251(2007)], $e+e-$ 崩壊と $K+K-$ 崩壊の測定できる運動学的な領域(アクセプタンス)の違いのために、 $K+K-$ 崩壊では $\beta\gamma < 1.25$ の領域の統計は限られてしまい、適当なフィットが出来ない。よって、 $e+e-$ 崩壊と $K+K-$ 崩壊の不変質量分布から得られる結果は矛盾しない。

次に、 ϕ 中間子生成の原子核依存性を $\sigma(A) = \sigma_0 A^\alpha$ という関係式を用いて、 $e+e-$ 崩壊と $K+K-$ 崩壊の間で比較した。しかしながら、アクセプタンスが $e+e-$ 崩壊と $K+K-$ 崩壊で異なるために、両崩壊モードの直接的な比較は行えない。そこで、ラピディティ(y)・横運動量(p_T)空間において α が平面的に分布しているという仮定の下で、 $\alpha_{\phi \rightarrow e+e-}$ を $K+K-$ のアクセプタンスへ外挿して $\alpha_{\phi \rightarrow K+K-}$ との比較を行った。このような平面仮定は、実際のデータの統計の範囲で成り立っている。その結果、遅い領域($\beta\gamma < 1.7$)において $\Delta\alpha = \alpha_{\phi \rightarrow K+K-} - \alpha_{\phi \rightarrow e+e-} = 0.33 \pm 0.17$ 、全領域($1 < \beta\gamma < 3.5$)で平均すると $\Delta\alpha = 0.14 \pm 0.12$ が得られた。 $\Delta\alpha$ は0から離れた有限な値を持つように見えるが、しかし、統計の範囲内で $\Delta\alpha$ は0にコンシステントである。つまり、 $\alpha_{\phi \rightarrow K+K-}$ と $\alpha_{\phi \rightarrow e+e-}$ は差が無い結果が得られた。原子核物質中での部分崩壊幅の比 $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K-}/\Gamma_{\phi \rightarrow e+e-}$ を測定したのはこの実験が初めてである。

これらの結果に基づき、モンテ・カルロ計算により核内崩壊幅の広がり $\Delta\alpha$ の関係を計算し、得られた $\Delta\alpha$ から核内崩壊幅の広がりについての制限を得た。つまり、 $\Gamma_{\phi \rightarrow K+K-}$ については k_K 、 $\Gamma_{\phi \rightarrow e+e-}$ については k_e という2つのパラメーターを

用いて、得られた $\Delta\alpha$ から k_K と k_e の空間上での制限を得た。ここでは、 $\Gamma_{\phi \rightarrow X+X^-}^* / \Gamma_{\phi \rightarrow X+X^-} = 1+kx \ (r/r_0)$ という式を仮定している。また、核内崩壊幅が変化すれば不変質量分布も変化するはずなので、 $\phi \rightarrow K+K^-$ の不変質量分布の変化の度合いを調べることで、 k_K の制限を得た。これら2つの制限から、 k_K と k_e の空間上において90%信頼区間が得られた。すなわち、この研究により初めて核内崩壊幅に関する制限が実験的に得られた。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、12GeV陽子—原子核反応において生成される ϕ 中間子を $e+e^-$ 崩壊と $K+K^-$ 崩壊によって測定し、原子核密度中での質量および崩壊幅の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、 $e+e^-$ 崩壊により ρ と ω および ϕ 中間子の原子核内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。もしこれが正しいとすると、崩壊幅や $e+e^-$ 崩壊と $K+K^-$ 崩壊の分岐比も原子核中では変化する可能性がある。本申請論文は、その変化を調べることを目的として行われた研究をまとめたもので、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、はじめて原子核中での崩壊幅と分岐比についての実験データを与えたものとして評価できる。

この実験はKEKの陽子シンクロトロンからの12GeV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 ϕ 中間子をその $e+e^-$ 崩壊と $K+K^-$ 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 $K+K^-$ のスペクトルと $e+e^-$ のスペクトルにきれいな ϕ のピークを見出すことに成功した。とくに $e+e^-$ のスペクトルで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、崩壊分岐比の変化を見るため ϕ 中間子生成の原子核依存性を $\sigma(A) = \sigma_0 A^\alpha$ という関係式を用いて、 $e+e^-$ 崩壊と $K+K^-$ 崩壊の間で比較した。しかし各速度領域において α を比較した結果、 $e+e^-$ 崩壊と $K+K^-$ 崩壊の間で統計誤差の範囲内で有意な違いは見られなかったという結論である。しかしながらこのデータは $e+e^-$ 崩壊と $K+K^-$ 崩壊の原子核中での幅と分岐比について制限をあたえている。これはこの問題に関するはじめてのデータであり、十分な評価に値する。この研究はその意味で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新たなデータを提供し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。