

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	平岩 聡彦
論文題目	Coherent ϕ -meson photoproduction from helium-4 with linearly polarized photon beam		
(論文内容の要旨)			
<p>申請論文は、直線偏光光子ビームを用いた閾値近傍でのヘリウム4標的からのϕ中間子コヒーレント光生成 ($\gamma+{}^4\text{He}\rightarrow\phi+{}^4\text{He}$) における$\phi\rightarrow\text{K}^+\text{K}^-$崩壊角度分布、及び微分断面積の測定について報告したものである。</p> <p>この反応では、Okubo-Zweig-Iizuka 則による中間子交換の抑制効果に加え、スピン・パリティの保存則からπ中間子交換やη中間子交換といった非ナチュラルパリティ交換が禁止される。これらのことから、この反応は、あらゆるエネルギー領域において、ポメロン交換に代表されるような多重グルーオン交換により起こることが期待される。これは、他のハドロン反応には決してないユニークな点である。</p> <p>ポメロンは、高エネルギー極限でのハドロン衝突の全断面積の振舞いを説明するために導入された仮想的な粒子群である。ポメロン交換を伴うあらゆる高エネルギーの現象は、ハドロンの種類に依らず、レッジエ理論に基づく一つの有効模型によって記述できる。一方で、その基本的性質、及び、強い力の基本原理である量子色力学との関係性についてはよく理解されていない。ポメロン交換と二重グルーオン交換との類似性に基づくモデルによると、閾値近傍でのϕ中間子光生成は、ポメロン交換のヘリシティ構造に対して敏感であることが予想されている。このことは、本研究を行うにあたっての動機付けの一つである。また、レッジエ理論は高エネルギー領域でのハドロン衝突を記述するための理論であり、それに基づくポメロン交換模型が低エネルギー領域にそのまま適用できるかは自明ではなく、実験的に検証する必要がある。</p> <p>申請者らは、SPring-8 の LEPS ビームラインで実験を行った。入射エネルギー$E_\gamma = 1.685\text{--}2.385\text{ GeV}$ の直線偏光光子ビームを標的に照射し、標的下流のスペクトロメーターで検出された K^+K^-対の不変質量分布からϕ中間子の生成を同定した。また、コヒーレント生成事象とそれ以外の事象の分離は、ビームと K^+K^-対との間の質量欠損分布を見ることで行った。測定した崩壊角度分布から求めたϕ中間子のスピン密度行列要素は、この反応では、(1)ポメロン交換のようなナチュラルパリティ交換が非常に大きな寄与を果たしていることと、(2)double helicity-flip 過程 ($\lambda_\phi = -\lambda_\gamma$) が存在することを強く示唆するものであった。特に後者は、ポメロン交換をスピン2の粒子交換と見なせることを意味しており、二重グルーオン交換に基づくポメロン交換模型の妥当性を支持する結果となった。</p> <p>また申請者は、本研究で得られた 0 度断面積のエネルギー依存性を用いて、いくつかのモデルを通じて、素過程 (水素標的での結果) における閾値近傍でのナチュラルパリティ交換の寄与を評価した。その結果、素過程における閾値近傍では、(1)ポメロン交換と非ナチュラルパリティ交換との間に大きな破壊的干渉効果が必要なこと、もしくは、(2)ポメロン交換以外のナチュラルパリティ交換の寄与 (例えば、0^+グルーボールに関連した第二のポメロン交換) が必要なことが明らかになった。特に前者は、低エネルギー領域においては、既存のポメロン交換模型の変更が必要なことを示唆している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は高エネルギー光子による ϕ 中間子生成反応機構に関する新しい実験成果をまとめたものである。兵庫県にあるSPring-8実験施設の大阪大学核物理研究センター所有のLEPSビームラインにおいて直線偏光光子ビームによりヘリウム4標的からの ϕ 中間子生成を測定した。特に反応の前後において標的であるヘリウム4原子核が基底状態のままにあるコヒーレント反応過程($\gamma+{}^4\text{He}\rightarrow\phi+{}^4\text{He}$)を特定して研究したところに大きな特徴がある。このお陰で標的のスピン・パリティを 0^+ に限定することが可能となり、ポメロン交換に代表される多重グルーオン交換反応過程に感度を持つ測定となった。

測定した入射光子のエネルギー範囲は、1.685-2.385 GeVという ϕ 中間子の生成閾値近傍である。 ϕ 中間子の生成は K^+K^- 対の不変質量分布によって同定された。また、コヒーレント反応過程は、ビーム光子エネルギーと ϕ 中間子との質量欠損を測定することにより選別された。入射光子の直線偏極を利用して ϕ 中間子の K^+K^- 対への崩壊角度分布を解析することにより、スピン密度行列を測定できる。得られた ρ^0 成分はほとんどゼロであり、ヘリシティ保存過程が支配的であることがわかった。また、崩壊非対称度 ρ^{-1}_{-1} は、ナチュラル・パリティ成分が支配的であることを示している。これらのことから、二重ヘリシティ反転遷移が存在することが強く示唆される。以上の観測事実は、二重グルーオン交換に基づくポメロン交換模型の正当性を支持するものである。

前方での ϕ 中間子生成微分断面積を運動量移行の関数として測定がなされた。角度分布は指数関数的振る舞いをし、そのパラメーターは $23.81\pm 0.95\pm 5.16/-0.00$ GeV²と得られた。この値は素過程のパラメーターとヘリウム4核の形状因子を考慮して理解することができる。このことは、二重散乱過程が小さく、ベクトル中間子模型がよく成り立っていることを示している。

また、この前方微分断面積の入射エネルギー依存性を理論模型と比較することにより、閾値近傍の微分断面積を説明するには、ポメロン交換以外の新しいナチュラルパリティ交換過程の寄与が必要になる、もしくは、ポメロン交換と大きく干渉するような非ナチュラル・パリティ交換過程が必要であることを明らかにすることに成功した。これは、中間エネルギーのハドロン物理学にとって大きな成果である。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年11月9日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降