

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	森津 学
論文題目	Search for the pentaquark Θ^+ via the $\pi^- p \rightarrow K^- X$ reaction at J-PARC		
(論文内容の要旨)			
<p>通常ハドロンはクォークと反クォークからなるメソンと3つのクォークからなるバリオンに大別されるが、これらの範疇に収まらない4つ以上のクォークからなるエキゾチックハドロンは低エネルギーでのクォークの動力学を調べるのに最適であり、精力的に研究がおこなわれている。ペンタクォークΘ^+は最少構成要素として $uudds^{\text{bar}}$ 状態からなる5つの構成子クォークを含むエキゾチックハドロンである。Θ^+は1540 MeV程度と軽い質量を有し、幅が数 MeV以下と非常に狭いと考えられている。もしこのような新奇な粒子が存在するのであれば、ハドロンの内部構造を研究する上で大変興味深い情報を提供する。過去に多くの探索実験がおこなわれたが、実験的な結論は混沌としている。更なる研究のためには高統計かつ高分解能の実験が要求される。</p> <p>大強度陽子加速器施設 J-PARC において$\pi^- p \rightarrow K^- X$反応を用いた欠損質量分光法によるペンタクォーク$\Theta^+$探索実験をおこなった。0.85 g/cm²厚の液体水素標的に対して運動量2.01 GeV/cのπ中間子ビームを8.1×10^{10}照射した。高分解能スペクトロメータシステムにより、Θ^+に対する質量分解能2.13 MeV(FWHM)を達成した。既知のΣハイペロン生成反応とビームを用いた較正データを使って運動量の較正および分解能の評価をおこなった。Θ^+に対する欠損質量の測定精度は1.4 MeVと見積もられ、もしΘ^+が生成されれば、顕著なピークが観測されて質量と幅を良い精度で決定できることを確認した。また、Σ生成反応の微分断面積が過去の実験と一致していることを確認し、さらに過去の実験よりもよい精度の測定結果を示した。$\pi^- p \rightarrow K^- X$反応の欠損質量分布で1500–1560 MeVの質量領域においてΘ^+に対応するピークは観測されず、前方散乱角2–15°における生成微分断面積の上限値として0.28 $\mu\text{b/sr}$を得ることに成功した。これは1.92 GeV/cの入射ビーム運動量でおこなった先行実験の上限値と同じ程度である。</p> <p>一方、反応機構からの考察に基づくと、$\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$反応の断面積は$\Theta^+$の崩壊幅と関係がある。今回得られたデータと先行実験のデータを合わせて有効ラグランジアンを使った理論計算と比較することにより、Θ^+の幅に対する上限値を評価した。Θ^+のSpin・パリティが$1/2^+$と$1/2^-$の場合に対してそれぞれ幅の上限値が0.36 MeVと1.9 MeVと見積もられた。これらは先行実験の上限値を半分まで下げる結果となった。Spin・パリティ$1/2^+$の場合については、過去にBelle実験から報告されている上限値0.64 MeVよりも厳しい制限を与えることに成功した。また、DIANA実験ではΘ^+の幅として0.34 ± 0.10 MeVという値が報告されているが、今回の上限値はこれと完全には矛盾しないものである。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、ペンタクォーク粒子と呼ばれるエキゾティックなハドロン粒子の実験的探索を、 π 中間子ビームを用いて行ったものである。この粒子 Θ^+ は、通常のハドロン粒子として分類されるバリオンやメソンとは異なるクォーク配位を持つ粒子と考えられ、質量は $1540 \text{ MeV}/c^2$ 程度と軽く、その幅が数MeV以下と非常に狭いという特徴がある。その存在が確定すればハドロン物理の常識を見直す必要がある。しかし、これまでにいくつかの有力な実験的証拠が報告されているものの、その存在に否定的な実験事実も多くあり、その存否は決着が付いていないのが現状である。この研究では、その狭い幅に着目し、高いエネルギー分解能をもつ磁気スペクトロメーターを利用することにより、 2.13 MeV (FWHM) というこれまでにない分解能で測定して、狭い幅に高い感度を持つ測定を行うことに成功した。

実験は、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設J-PARCのハドロン実験施設にあるK1.8ビームラインで実施された。大強度の π 中間子ビームを液体水素標的に照射し、 $\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Theta^+$ 反応によりペンタクォーク粒子を探索するものである。散乱K中間子の測定角度範囲は、前方2度-15度の範囲である。入射 π 中間子の運動量は、このビームラインで得られる最高運動量である $2.01 \text{ GeV}/c$ とした。これは、ペンタクォーク粒子の生成断面積が最大となると期待されるからである。測定装置のもつエネルギー分解能と質量値の較正は、よく知られた Σ ハイペロン粒子を使って綿密に行われ、所期のエネルギー分解能が達成されていることを確認するとともに、質量の絶対値も 1.4 MeV という精度で較正できていることが確認された。

結果として、得られた質量スペクトルには、ペンタクォーク Θ^+ の質量領域を広く覆う $1500\text{--}1560 \text{ MeV}/c^2$ 領域内に幅の狭い Θ^+ に対応する信号は観測できなかった。得られたバックグラウンドのスペクトル分布は、既知の反応過程で良く理解できる。これより、ペンタクォークの生成断面積の上限値として $0.28 \mu\text{b}/\text{sr}$ という値を求めることに成功した。これは、先行して実施した入射運動量 $1.92 \text{ GeV}/c$ での上限値に匹敵するものである。

これらの2つの入射運動量での実験データを合わせて考慮することにより、ペンタクォーク Θ^+ の崩壊幅に制限をつけることが可能となる。これには有効ラグランジアン模型に基づく理論計算の助けが必要である。理論模型の不定性も最大限に考慮することによって、 Θ^+ のスピンのパリティが $1/2^+$ と $1/2^-$ のそれぞれの場合に対して、 0.36 MeV 、 1.9 MeV という崩壊幅の上限値が得られた。このスピン・パリティが $1/2^+$ の場合の結果は、先行実験の上限値を半分にまで改善できたことになっている。また、従来最も厳しい上限値を与えていたBelleグループの値 0.64 MeV を上回る新たな制限を与えるものとなった。この結果は、ペンタクォーク Θ^+ の模型構築に対して新たな知見を与えるものになっている。

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26年11月26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