

氏 名	み わ こう じ 三 輪 浩 司
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 3079 号
学位授与の日付	平 成 18 年 7 月 24 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	Search for Θ^+ via $\pi^-p \rightarrow K^-X$ reaction near production threshold (生成閾値付近での $\pi^-p \rightarrow K^-X$ 反応を用いた Θ^+ 探索)
論文調査委員	(主 査) 教 授 今 井 憲 一 教 授 笹 尾 登 助 教 授 齊 藤 直 人

論 文 内 容 の 要 旨

申請論文では、ストレンジネス +1 を持つエキゾチックなバリオン共鳴 Θ^+ を $\pi^-p \rightarrow K^-\Theta^+$ 反応を用いて探索した結果をまとめたものである。 Θ^+ は Diakonov らの Chiral soliton model によって *undds* というクォーク構成からなり、質量が 1530MeV で幅が 15MeV 以下という狭い共鳴状態として予言された。SPRing-8/LEPS コラボレーションによって初めて Θ^+ の実験的な evidence が報告されたが、このような共鳴状態が本当に存在するかどうかに関して非常に controversial な状況となってきている。もしも Θ^+ が幅の狭い状態で存在するならば低エネルギー領域での QCD に新たな知見を与えるものとなる。 Θ^+ の存在を確認することを目的として、申請者らは生成閾値付近のエネルギー領域でのハドロン反応を用いて高統計で Θ^+ を探索する実験を行った。

申請者らは $\pi^-p \rightarrow K^-X$ 反応から Θ^+ を探索する実験を KEK 陽子シンクロトロンでの K2 ビームラインにて行った。1.87GeV/c および 1.92GeV/c の π^- ビームを主にポリエチレン標的に照射した。ビーム運動量および散乱 K^- の運動量をそれぞれビームスペクトロメーターおよび前方スペクトロメーターを用いて解析し、missing mass spectroscopy から Θ^+ の探索を行った。 Θ^+ は幅が非常に狭いと考えられるのでスペクトロメーターシステムの分解能に注意を払って解析は行われ、期待される missing mass の分解能は 13.4MeV (FWHM) である。ビーム運動量 1.87GeV/c に対して得られた $\pi^-p \rightarrow K^-X$ 反応の missing mass には Θ^+ に対応するような構造は見られなかった。一方でビーム運動量 1.92GeV/c での missing mass に実験の分解能と一致する幅を持つ bump 構造が他の実験グループが主張している値と consistent な質量 $1530.6^{+2.2}_{-1.9}(\text{stat.})^{+1.9}_{-1.3}(\text{sys.})$ MeV に確認された。しかし、統計的な有意度は $2.5 \sim 2.7\sigma$ 程度で Θ^+ の evidence と主張するには十分でなかったため、 $\pi^-p \rightarrow K^-\Theta^+$ 反応の生成断面積の上限値を導出した。実験室系での散乱角 0° から 20° まで平均した微分断面積の 90% の信頼度での上限値としてビーム運動量 1.87GeV/c および 1.92GeV/c に対してそれぞれ $1.6\mu\text{b}/\text{sr}$ および $2.9\mu\text{b}/\text{sr}$ と求まった。 Θ^+ がその重心系において等方的に生成されると仮定したときの全断面積の 90% の信頼度での上限値はビーム運動量 1.87GeV/c および 1.92GeV/c に対してそれぞれ $1.8\mu\text{b}$ および $3.9\mu\text{b}$ と求まった。

本実験で得られた生成断面積の上限値は、effective Lagrangian を用いた理論計算に比べ著しく小さなものとなった。この計算では実験的に決定されなければならないパラメータがあり、本実験の結果はそれらの値に対して非常に強い制限をかける結果となった。本実験の結果をもとに兵藤と保坂によって、 $K^+p \rightarrow \pi^+\Theta^+$ 反応の生成断面積が研究され、それによると Θ^+ のスピン・パリティ (J^P) によって断面積の比が大きく異なることが報告された。すなわち $J^P=1/2^+$ の場合には $\sigma(K^+p \rightarrow \pi^+\Theta^+)/\sigma(\pi^-p \rightarrow K^-\Theta^+) \sim 50$ と K^+ を用いた反応において著しく大きくなるが、一方で $J^P=3/2^-$ の場合には 3.3 程度とそれほど大きな値とはならない。新たに行われた $K^+p \rightarrow \pi^+\Theta^+$ 反応を用いた実験結果と本実験での結果を合わせることで Θ^+ の存在に関してより深い理解が得られると考えられる。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は最近注目されているクォーク5体系のバリオンであるペンタクォーク Θ^+ 探索実験の結果を、この問題に関する最近の研究の review を含めて報告したものである。 Θ^+ は chiral soliton model による理論的予言（質量 1530MeV で幅 15MeV）に極めて近い形で、SPring-8 で発見の報告があり、次々とその存在確認する実験が主に γ ビームによる実験で報告された。しかしその後、高エネルギー反応でも探索されたが、みつからない例が多く報告された。高エネルギーの fragmentation では5クォーク状態のバリオンの生成断面積が理論的にはかなり小さくなるという議論もあり、低エネルギーのハドロンビームによる実験が望まれていた。そこで申請者は、 π 中間子をもちいて、 $\pi^-p \rightarrow K^-\Theta^+$ 反応の閾値付近で Θ^+ 探索の実験を行った。

実験は高エネルギー加速器研究機構の陽子シンクロトロン K2 ビームラインの π 中間子ビームを用いて行われた。ビームの中心運動量は 1.87 と 1.92 GeV/c で、 π 中間子を用いた Θ^+ 探索実験はこの実験が世界で初めてである。実験では π^- 中間子ビームを TOF などと同定してビームラインのスペクトロメーターで運動量を測定している。標的は CH_2 と scintillating fiber の2種類である。 K^- は KURAMA 電磁石を中心としてスペクトロメーターで測定している。 K^- の運動量が低いこともあり、粒子の同定はほとんど background なしでおこなわれている。Missing mass のスペクトルを求めるとき、 $\pi^+p \rightarrow K^+\Sigma^+$ を測定して Σ^+ の質量スペクトルを使ってスペクトロメーターの較正を行っている。それによると Θ^+ に対する期待される質量分解能は 13.4 MeV (FWHM) であり、このスペクトロメーターの性能としては十分な精度をひきだしている。

ビーム運動量 1.87 GeV/c に対して得られた $\pi^-p \rightarrow K^-X$ 反応の missing mass には Θ^+ に対応するような構造は見られなかったが、ビーム運動量 1.92 GeV/c での missing mass に実験の分解能と一致する幅を持つ bump 構造が $1530.6\text{MeV}^{+2.2}_{-1.9}(\text{stat.})^{+1.9}_{-1.3}(\text{sys.})\text{MeV}$ に確認された。しかし、統計的な有意度は $2.5\sim 2.7\sigma$ 程度で Θ^+ の evidence と主張するには十分でないため、 $\pi^-p \rightarrow K^-\Theta^+$ 反応の生成断面積の上限値を導出した。 Θ^+ がその重心系において等方的に生成されると仮定したときの全断面積の90%の信頼度での上限値はビーム運動量 1.87 GeV/c および 1.92 GeV/c に対してそれぞれ $1.8\mu\text{b}$ および $3.9\mu\text{b}$ と求めている。これらは公表されている理論計算に比べてかなり小さな値であり、 Θ^+ が存在するとするとその生成メカニズムと構造について大きな制限を与えたと考えられる。最近申請者らによって $K^+p \rightarrow \pi^+\Theta^+$ 反応の実験が行われているが、この結果とあわせると Θ^+ のスピンを含めてさらに厳しい制限を与えるだろうと予想されている。本申請論文は、最近注目されているペンタクォークという新しいハドロンについて、はじめて低エネルギーの π 中間子ビームを使ってその探索を行い、その生成断面積の上限を与えたという意味で、十分評価に値するものである。

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。