

氏 名	ヨオン 尹	チョオン 忠	ジャエ 在
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)		
学 位 記 番 号	理 博 第 3197 号		
学位授与の日付	平 成 19 年 7 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	Search for H-dibaryon resonance in $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+ \Lambda\Lambda\text{X})$ reaction ($^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+ \Lambda\Lambda\text{X})$ 反応における H-重粒子の共鳴探索)		
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、KEK-PSのK中間子ビームを用いて行われた $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+ \Lambda\Lambda\text{X})$ 反応によるHダイバリオン共鳴の探索実験(E522)とその結果に関するものである。Hダイバリオンは量子色力学(QCD)の色磁気力とフレーバーSU(3)対称性から、安定な粒子として予言されたssuuddのクォーク6体系の粒子である。これまでの多くの探索実験では確認されず、またダブルハイパー核の研究からは束縛状態として安定なHダイバリオンの存在はほぼ否定された。しかし共鳴状態として存在する可能性は否定できず、また共鳴状態として存在するという理論的な計算もいくつかなされている。

以前に行われたKEK-PSダイバリオン探索実験では、 $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+ \Lambda\Lambda\text{X})$ 反応の観測で得られた $\Lambda\Lambda$ の不変質量分布において、その閾値付近に収量のenhancementが観測されたことが報告された。これはHダイバリオン共鳴の可能性を示唆するものであったが、統計がきわめて乏しくその確認にはさらなる実験が必要とされた。そこで申請者は以前の実験にくらべて高い統計とよりよいエネルギー分解能(質量分解能)で同じ $^{12}\text{C}(\text{K}^-, \text{K}^+ \Lambda\Lambda\text{X})$ 反応を用いて探索実験を行った。

実験ではKEK-PSのK2ビームラインのK-中間子ビームをscintillating fiberのactive標的(Scifi)にあて、Cherenkov検出器やTOF検出器を備えた大立体角の K^+ spectrometerで K^+ 中間子を測定することでまず (K^-, K^+) 反応を同定する。散乱粒子の運動量と速度を測ることで多くの π^- 中間子や陽子(p)から K^+ 中間子を分離して (K^-, K^+) 反応を同定した。 K^+ の質量分解能は $32\text{MeV}/c^2$ であった。さらに K^+ の運動量が $0.9\text{GeV}/c$ 以上の領域の約46000の全事象についてscintillation fiber検出器の画像データをeye scanして事象の分類を行った。その際モンテカルロ法で2個の Λ が生成された事象をシミュレートしてデータ中に混ぜてscanし、 $\Lambda\Lambda$ 事象の検出効率を求めるのに用いた。

Scifi検出器は $300\mu\text{m}$ の正方形断面のfiberからなり、 $100(x)\times 100(y)\times 200(z)\text{mm}$ の有効体積をもっており、x, y方向から大口径Image Intensifier Tube(IIT)で粒子の飛跡の画像データをとることができる。この検出器での高速荷電粒子の飛跡の位置分解能として $334\mu\text{m}$ を得た。 Λ 粒子の π^-p への崩壊はV粒子として認識しやすいが、質量と運動量を求めるため π^- かpのどちらかがScifi中に停止している事象を選び、 Λ 粒子の寿命と二つの Λ 粒子が生成した事象については Λ 粒子の質量を求めた。寿命については実験精度内で知られている値と一致することを確認、質量の分解能としては $15\text{MeV}/c^2$ を得た。まぎらわしい事象を排除するため、 π^- とpの飛跡については4mm、 Λ は1.5mm以上であることを条件とした。そのようにして68個の $\Lambda\Lambda$ 事象を得た。その $\Lambda\Lambda$ の不変質量の分解能は $7.5\text{MeV}/c^2$ と以前よりよい分解能を得た。

実験で得られた $\Lambda\Lambda$ 不変質量分布では閾値付近にenhancementが見られた。しかしphase spaceから予想される分布や、combinatorial backgroundと比べても、ピークとしての統計的有意性はそれぞれ2.1および2.6と低い。申請者はIntra Nuclear Cascade(INC)モデルを用いたこの反応の理論計算を行いこれとの比較を行った。ここでは最近測定された $^6\text{He}_{\Lambda\Lambda}$ のダブルハイパー核の束縛エネルギーからきまる $\Lambda\Lambda$ 相互作用を再現する核力のモデルを使って、 $\Lambda\Lambda$ の終状態相互作用を取り入れた計算を初めて行った。計算結果は実験で得られた $\Lambda\Lambda$ 質量分布をよく再現することがわかった。実験結果としてはHダイバリオン共鳴の証拠は見つからず、その生成断面積の上限が約 $2.1\mu\text{b}/\text{sr}$ と求められた。これは過去のDover等の

予言値とほぼ同じである。さらに実験で得られた不変質量分布を $\Lambda\Lambda$ 終状態相互作用を $\Lambda\Lambda$ 散乱の scattering length と effective range をパラメーターとしてフィットした結果、最適値としてそれぞれ $a_{\Lambda\Lambda}=-0.4\text{fm}$ と $r_{\Lambda\Lambda}=2.8\text{fm}$ を得た。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、 K^- 中間子ビームを用いた $^{12}\text{C}(K^-, K^+\Lambda\Lambda X)$ 反応を測定し、得られる $\Lambda\Lambda$ の不変質量分布からHダイバリオン共鳴を探索したものである。HダイバリオンQCDが成立後すぐにそのcolor magnetic相互作用の性質から予言されたssuuddからなるクォーク6体系のエキゾチックな粒子である。これに関してこれまで多くの実験が行われたが見つからず、強く束縛した状態としては存在しないと信じられるにいたっている。しかしながら共鳴状態としてはまだ存在可能性があると考えられている。この実験の動機は、過去の実験(KEK-E224)で $\Lambda\Lambda$ 共鳴として閾値ちかくに存在する可能性を示唆するものがあることに注目して、より高い統計で $\Lambda\Lambda$ 共鳴状態としてのHダイバリオンを探索しようとしたものである。

申請者等は、そのためにKEK-PSにおいてE552と呼ばれるscintillating fiber飛跡検出器(Scifi)を反応標的とした(K^- , K^+)反応を測定する実験を行った。過去の同様の実験より格段に高い統計精度を得るために、磁石やTracking detectorやTOFなどの検出器を狭い空間に配置して、大立体角での K^+ 中間子の測定を行い高い統計の(K^- , K^+)反応事象の取得に成功している。また一辺 $300\mu\text{m}$ のより細かい正方形断面のscintillating fiberを使い、 $100\times 100\times 200\text{mm}$ というより有効体積の大きなScifiを使い、さらにより高速で働くCCDカメラを用いることで、過去の実験にくらべ、高い収量と高い信頼性およびよりよい $\Lambda\Lambda$ 不変質量の分解能を達成している。これらの実験装置やデータ取得方法の改良に成功したことが、実験データの質の向上に大きく寄与しており、本申請論文を十分意義あるものとしている。以前の同様の実験に比べて約5倍の約46000の画像データを得たことは、原子核からの(K^- , K^+)反応事象の画像データとしては世界最大であり、その点でも貴重な結果といえる。

得られた $\Lambda\Lambda$ 生成事象について画像データのシミュレーションをもとに、さまざまなチェックを行い、 π^- や陽子の飛跡の長さや Λ 粒子の飛行距離などについての確実な条件を設定し、検出効率についての補正を行い、最終的な $\Lambda\Lambda$ 不変質量分布を得ている。最終的な $\Lambda\Lambda$ 事象の数は過去の実験の約2倍であるが、分解能をふくむそのqualityは格段にあがっており、データの信頼性も高くなっていると思われる。結果は以前のデータと同じく $\Lambda\Lambda$ 閾値ちかくに収量のenhancementは見られるが、1) phase spaceなどに比べて統計的に有意とはいえないこと、2) 現在ダブルハイパーのデータを再現すると考えられる $\Lambda\Lambda$ 終状態相互作用をふくむ核内カスケード計算とよく一致すること、3) 最もきびしいHダイバリオン共鳴の生成断面積を与えたこと、である。これらの結果はHダイバリオン共鳴の存在に対する新しい知見を与え、かつ $\Lambda\Lambda$ 相互作用についても新しい知見を与えたものとして高く評価できる。さらに $\Lambda\Lambda$ 散乱の散乱長についても実験データから制限を与え、いくつかのバリオン-バリオン相互作用の理論モデルは修正を要することも明らかにしたことは十分意義があると考えられる。なおこの実験の主要な結果については、すでにPhysical Review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。