

氏名	いちかわあつこ 市川温子
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2284号
学位授与の日付	平成13年3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	Study of S=-2 Nuclear Systems with Hybrid Emulsion Method (ハイブリッドエマルジョン法によるS=-2核の研究)

論文調査委員 (主査) 教授 今井憲一 教授 西川公一郎 教授 笹尾 登

論文内容の要旨

本申請論文は、新しいハイブリッド・エマルジョン法を開発して行ったS=-2核の探索実験(KEK-PSE373)の結果について述べたものである。その目的は、 Ξ^- 粒子の静止吸収点から生成されるダブル・ストレンジネス核を過去の10倍の統計で探し、研究することにある。実験では1.66GeV/cの K^- ビームを用いて、ダイヤモンド標的中で(K^- , K^+)反応により Ξ^- 粒子を生成し、原子核写真乾板(エマルジョン)中に静止させた。用いたエマルジョンの総量は69リットルである。 (K^-, K^+) 反応は、スペクトロメータ系により同定し、 Ξ^- 粒子のエマルジョンへの入射位置および角度は、シンチレーティング・マイクロファイバーを用いた高精度飛跡測定器で測定した。エマルジョンの上流および下流におかれたシンチレーティング・ファイバ・ブロックは、エマルジョンで解析すべき事象を選びだすために用いられた。選ばれた事象については、エマルジョン中に、対応する Ξ^- 粒子の飛跡を本研究で新しく開発された全自動飛跡探索装置で探し、静止吸収点を求めて追跡した。

これまでに全エマルジョンの6%の解析が終了し、ツイン・ハイパー核事象とダブル Λ ハイパー核が Ξ^- の静止吸収点で見つかっている。これらの事象は、その核種を求めるために飛跡の飛程や角度から運動学的に解析された。

ツイン・ハイパー核事象とは、 Ξ^- 粒子の吸収点から2個の Λ ハイパー核が放出される事象で、今回の事象は、(Ξ^- , ${}^4\text{N}$)原子から ${}^5_\Lambda\text{He} + {}^5_\Lambda\text{He} + {}^4\text{He} + n$ への崩壊と解釈された。吸収された時の Ξ^- の結合エネルギーは $-2.6 \pm 1.2 \text{ MeV}$ と求められた。 Ξ^- 原子とその崩壊粒子の種類がただ一つに同定されたのは、このような事象に対して初めてである。

ダブル Λ ハイパー核は、 Ξ^- の静止吸収点からもう一つの荷電粒子と同時に生成され、2回の連続崩壊が観測された。ダブル Λ ハイパー核の飛跡ともう一方の粒子の飛跡は、誤差の範囲内で平行であった。もし、2体崩壊でこれらの粒子が生成されたと仮定するならば、この事象は、 $\Xi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be} + t$ という反応が起きたと同定された。この時、 ${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ が基底状態で生成されたのならば、 $\Lambda\Lambda$ の結合エネルギー($B_{\Lambda\Lambda}$)は $12.31 \pm 0.21 \text{ MeV}$ で、 $\Lambda\Lambda$ 間相互作用エネルギー($\Delta B_{\Lambda\Lambda}$)は、 $-1.11 \pm 0.21 \text{ MeV}$ であった。もし、 ${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ が 3.0 MeV の励起状態で生成されたのであれば、 $B_{\Lambda\Lambda}$ は $15.35 \pm 0.21 \text{ MeV}$ 、 $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ は、 $1.93 \pm 0.21 \text{ MeV}$ であった。生成反応が2体崩壊ではなく、中性子を含んでいた場合には、核種を1種類に同定することはできず、 $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ の下限値として 1.4 MeV という値が得られた。ちなみに、簡単な位相空間の計算によれば、中性子を含む3体崩壊が、今回の事象のように2個の荷電粒子が平行に飛ぶトポロジーを見せる確率は4~6%と見積もられる。過去の実験KEK-PSE176の結果と合わせると、 $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ として許される値は、 ${}^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ に対する $-1.11 \pm 0.21 \text{ MeV}$ と $+1.93 \pm 0.21 \text{ MeV}$ 、そして ${}^{13}_{\Lambda\Lambda}\text{B}$ に対する $+4.9 \pm 0.8 \text{ MeV}$ と $0.94 \pm 0.47 \text{ MeV}$ となった。これは、 $\Lambda\Lambda$ 間相互作用を知る上で重要な情報である。

これまでに、E176とE373の結果を合わせると、2個のダブル Λ ハイパー核及び3個のツイン・ハイパー核事象が見つかっている。この比率(2/3)は $\Lambda\Lambda$ 間相互作用として強い引力($\Delta B_{\Lambda\Lambda} \sim 5 \text{ MeV}$)を用いた理論的予想よりも有意に小さい。この差異は、 $\Lambda\Lambda$ 間相互作用がもっと弱いことを示唆している可能性がある。あるいは、ダブル Λ ハイパー核が1回目の

放出でもう一方の Λ を放出してしまい、観測にかかっていない可能性も考えられる。

本研究では、以上のように、 $\Lambda\Lambda$ 間相互作用に関する情報を引き出すと共に、過去の実験の10倍の Ξ^- 静止吸収を得るために行われた実験装置および解析装置の開発・研究についても論じている。

論文審査の結果の要旨

ストレンジネスフォークを2個ふくむ原子核 ($S=-2$ 核) は、実験上の困難のためまだ確実に核種が同定されたものは見つかっていないといってよい。本申請論文は、過去の実験を一桁上まわる統計を目指した新しいハイブリッド・エマルジョン法による実験と、そのいくつかの結果を論じたものである。過去の実験では (K^- , K^+) 反応で生成される Ξ^- ハイペロンをエマルジョン中に停止させて、約80個の Stopping Ξ^- 事象の観測に成功している。そして核種は一意的には決定できないもののいくつかの $S=-2$ 核の証拠を報告している。

申請論文の実験では、 Ξ^- の tracking 検出器として、Fiber-bundle 検出器という高精度の飛跡検出器を始めて実用化し、エマルジョンと組み合わせたまったく新しいハイブリッド・エマルジョン法が実際の実験でうまくいくことを示した。そして実際に目標の10倍をうまわる stopping Ξ^- 事象を実験で得ることに成功している。このような高統計の $S=-2$ 核の実験を可能にしたことは、この分野の物理の発展にとって大きなステップであり、大きな研究業績であるといえる。

この実験のデータ解析では、Fiber-bundle 検出器で測定された Ξ^- のトラック情報に従って、エマルジョン中でトラックを選び出しその停止点まで追跡するという、従来の方法では大変労力のかかる解析作業が必要である。この申請論文では、全自動化飛跡探索装置を新たに開発し、この作業を全自動化することに成功している。この技術開発により高統計のハイブリッド・エマルジョン法が現実として可能になったことを考えると、これも実験技術上の極めて大きな業績であると評価できる。

申請者はその6%のデータを解析して、ツイン・ハイパー核事象とダブル・ハイパー核のカスケード崩壊事象を発見している。この事象の運動学的解析から、発見されたツイン・ハイパー核事象は、(Ξ^- , ^{14}N) 原子から $^5_{\Lambda}\text{He} + ^5_{\Lambda}\text{He} + ^4\text{He} + n$ への崩壊と解釈された。このようにユニークにツイン・ハイパー核事象が同定されたのは、始めてであり記念すべき発見である。

ダブル・ハイパー核事象は、 Ξ^- 吸収点から生成された核破片が2回の連続崩壊を起こしていることが観測され、ダブル・ハイパー核の生成と崩壊をしめす事象と確認された。運動学的解析によると、もし、2体崩壊でこれらの粒子が生成されたと仮定するならば、この事象は、 $\Xi^- + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be} + t$ という反応が起きたと同定された。この時、 $^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$ が基底状態で生成されたか励起状態が生成されたかで、 $\Lambda\Lambda$ の結合エネルギー ($B_{\Lambda\Lambda}$) は異なり、 $\Lambda\Lambda$ 間相互作用エネルギー ($\Delta B_{\Lambda\Lambda}$) も引力と斥力のどちらかになる。しかし中性子放出をふくむ場合を考慮しても $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ に対して制限をあたえたことは大きな意味がある。信頼できる世界で2個目のダブル・ハイパー核とし、て貴重な発見である。

これらの発見は、 Ξ^- 吸収点からのツイン・ダブル・ハイパー核の生成確率を、より確かなものとしており、 $S=-2$ 核生成機構について重要な知見をもたらしたものと評価できる。またこれらのデータから $\Lambda-\Lambda$ 相互作用について、可能な領域を決めている。

以上この申請論文は新しい実験技術を開発し、 $S=-2$ 核の研究を飛躍的に進めたものとして高く評価できる。

なおこの申請論文のいくつかの内容は、Physics Letters 誌に掲載されている。よって、本申請論文は博士(理学)の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。