

氏名	やまもと かず ひろ 山本和弘
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2257号
学位授与の日付	平成12年9月25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 the H-Dibaryon via the (K^- , K^+) Reaction on ^{12}C (^{12}C における(K^- , K^+)反応を経由したHダイバリオン探索)
論文調査委員	(主査) 教授 今井憲一 教授 西川公一郎 助教授 延與秀人

論文内容の要旨

本申請論文は(K^- , K^+)反応を用いたHダイバリオン探索に関するものである。申請者等は米国ブルックヘブン国立研究所のAGS陽子加速器施設に於いて(K^- , K^+)反応を用いたHダイバリオン探索実験を行なった。Hダイバリオンとは *uuddss* のクォーク6体系の束縛状態として理論的に予言されたものである。これまでも様々な方法で探索実験が行われてきたが、未だその存否は確認されていない。この実験では1.8GeV/cの K^- ビームをダイヤモンド(^{12}C)標的に入射させることにより、直接生成過程 $K^- + ^{12}\text{C} \rightarrow K^+ + H + X$ 及び、静止 Ξ^- 捕獲による Ξ^- 原子を経由した生成過程($\Xi^-, ^{12}\text{C}$)_{atom} $\rightarrow H + X$ の2つの過程においてHダイバリオンの探索を行った。後者の過程における Ξ^- は、 ^{12}C 中の陽子との準自由(K^- , K^+)反応によって生成される。入射 K^- の強度は $10^6/\text{spill}$ (~ 1.2 秒)で、純度は $K^-/\pi^- = 1.4$ であった。またダイヤモンドは、その密度の高さを利用して多くの Ξ^- を崩壊以前に静止させるのに有効で、ここでは Ξ^- の吸収標的としても使われた。 (K^-, K^+) 反応は、双極電磁石、シンチレーターホドスコープ、ドリフトチェンバー、エアロジェルチェレンコフカウンターを含む電磁スペクトロメーターによって測定され、実験期間全体で 8×10^{11} 個の入射 K^- に対して約 3×10^5 個の(K^-, K^+)反応のデータが収集された。

直接生成反応によるH探索では、 $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ 反応のミッシングマスマスペクトルに於いて、準自由 Ξ^- 生成の閾値以下の領域でHの生成信号が探された。理論的考察により、もしHが生成されていれば、その質量に応じて生成を示すピークが見られると予想されたが、実験データにはその証拠は見られなかった。その結果、 K^+ の前方散乱($\theta_{K^+} < 14^\circ$)の領域でHの生成断面積の上限値が定められた。90%の信頼度を持つ値として、 $2100 \text{MeV}/c^2$ 以下の質量のHに対しては数nb/srから10nb/srの範囲で求められ、 $2200 \text{MeV}/c^2$ 付近の質量のHに対しては約200nb/srであった。この上限値は $2160 \text{MeV}/c^2$ 以下の質量のHに対して、現時点で最も測定感度の高い実験結果である。

静止 Ξ^- 捕獲による Ξ^- 原子からのH生成については、電磁スペクトロメーターに加えて、シンチレーティングファイバー(SCIFI)検出器と中性子検出器を用いて、Hの崩壊生成物を(K^-, K^+)反応と同時に観測することでその探索を行った。SCIFIブロック、イメージ増倍管、及びCCDカメラからなるSCIFI検出器はダイヤモンド標的の上下に置かれ、Hの崩壊で生成される荷電粒子の飛跡を観測するのに用いられた。まず $H \rightarrow \Sigma^- + p$ の崩壊モードが、続く $\Sigma^- \rightarrow n + \pi^-$ の崩壊と併せて、V字型飛跡の片方が折れ曲がった特徴的な飛跡の探索により調べられた。さらに、 $H \rightarrow \Lambda + n$ の崩壊モードが、SCIFI検出器中での $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ の飛跡と中性子検出器による中性子の測定により調べられた。しかし、両崩壊モードに於いて確定的なHの候補事象は得られず、($\Xi^-, ^{12}\text{C}$)_{atom}からのHの生成率とHのそれぞれの崩壊モードへの崩壊比との積の上限値が、90%の信頼度でHの質量(M_H)と寿命(τ_H)の関数として定められた。 $H \rightarrow \Sigma^- + p$ の崩壊モードに関しては、上限値は $2140 \text{MeV}/c^2 < M_H < 2230 \text{MeV}/c^2$, $0.1 \text{ns} < \tau_H < 10 \text{ns}$ の範囲で定められ、 $0.2 \text{ns} < \tau_H < 2 \text{ns}$ の時に30%以下という結果を得ている。特に $M_H > 2220 \text{MeV}/c^2$, $\tau_H \sim 1 \text{ns}$ の場合に10%の上限値を得た。また $H \rightarrow \Lambda + n$ の崩壊モードでは、上限値は $2180 \text{MeV}/c^2 < M_H < 2230 \text{MeV}/c^2$, $0.1 \text{ns} < \tau_H < 10 \text{ns}$ の範囲で定められ、 $M_H \sim 2205 \text{MeV}/c^2$, $\tau_H \sim 0.4 \text{ns}$ の

時に26%の上限値を得た。

論文審査の結果の要旨

本申請論文は、クォーク6体系の束縛状態として理論的に予言されていた H ダイバリオンの探索を行ない、その生成確率を論じその上限を求めたものである。 H ダイバリオンは $ssuudd$ の $SU(3)$ singlet のクォーク6体系で、QCDの color-magnetic 力によって束縛されると予言され、QCDの quark 閉じ込めという未解決の問題の研究にとって重要な未知粒子である。これまでにいくつかの探索実験が行なわれて来たがいまだに未発見である。 (K^-, K^+) 反応からの直接生成過程や、 (K^-, K^+) 反応で生成される Ξ^- を物質中に静止させ、 Ξ^- 原子を経由した生成過程は H ダイバリオン生成の有望な過程として、理論的な計算もなされいくつかの実験も試みられてきた。しかし K 中間子ビームの強度が低かったり Ξ^- 原子の生成数が少ないなど、実験的には十分な感度のものとはいえなかった。

本申請論文の実験では大強度の K 中間子ビームを用いて、かつダイヤモンドという高密度の炭素標的を用いることによって、 (K^-, K^+) 反応および Ξ^- 原子の量を過去の実験に比べて大幅に増やしたことが一つの特徴である。このことによって、まず直接生成過程 $K^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow K^+ + H + X$ の感度を大幅に改良した。結果としては H ダイバリオンの証拠は発見されなかったが、 $2100\text{MeV}/c^2$ 以下の質量の H に対しては数 nb/sr から 10nb/sr 、 $2200\text{MeV}/c^2$ 付近の質量の H に対しては約 200nb/sr の生成断面積の上限値を与えている。この上限値は $2160\text{MeV}/c^2$ 以下の質量の H に対して、現時点で最も測定感度の高い実験結果である。ていねいな解析によってこのような感度を達成したことは高く評価できる。

また Ξ^- - C 原子を経由する過程については、これまでに比べて桁ちがいに多くの Ξ^- 原子を生成することに成功し、さらにシンチレーティングファイバー (SCIFI) 検出器と中性子検出器を同時に用いたこともはじめてのことである。これらの検出器で H の崩壊事象が探索されたが結果としては H の証拠は発見されず、それぞれの H の崩壊モードについてその生成確率の上限値を与えている。 $H \rightarrow \Sigma^- + p$ の崩壊モードについては上限値は $2140\text{MeV}/c^2 < M_H < 2230\text{MeV}/c^2$ 、 $0.1\text{ns} < \tau_H < 10\text{ns}$ の範囲で定められ、特に $M_H > 2220\text{MeV}/c^2$ 、 $\tau_H \sim 1\text{ns}$ の場合には10%の上限値を与えている。 $H \rightarrow \Lambda + n$ の崩壊モードについては $2180\text{MeV}/c^2 < M_H < 2230\text{MeV}/c^2$ 、 $0.1\text{ns} < \tau_H < 10\text{ns}$ の範囲で、上限値が与えられ、 $M_H \sim 2205\text{MeV}/c^2$ 、 $\tau_H \sim 0.4\text{ns}$ の時に26%の上限値を与えた。これらは現在考えられる重い H については理論計算とくらべて低い値となっており、 H の Ξ^- 原子からの探索データを新しく与えたものとして評価できる。

以上本申請論文は、さまざまな検出器を駆使して H の存在と ${}^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ 反応と Ξ^- - C 原子からの生成確率についてこれまでになく厳しい制限を課したものとして評価できる。なおこの申請論文の主な内容は、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。