

論 文 の 内 容 の 要 旨

論文題目：Study of Double-Lambda Hypernuclei using the Cylindrical Detector System
(円筒型検出器系を用いたダブルラムダハイパー核の実験的研究)

氏名：中野 讓

Λ (uds) - Λ (uds) 間相互作用の大きさは、2つのバリオン間に働く強い相互作用を統一的に理解するためには不可欠な物理量であるが、その大きさは良く分かっていなかった。ダブルラムダ核 ($\Lambda\Lambda$ 核) の質量を測定することで Λ - Λ の間に働く相互作用を知ることができるが、ストレンジネスを2つ含む原子核系 ($S=-2$ 系) の生成断面積が小さく、これまで $\Lambda\Lambda$ 核の検出報告は数例しかなかった。他方、1970年代に QCD におけるカラーマグネティック相互作用により、安定に存在する 6 クォーク系、H 粒子の存在が Jaffe により示唆された。H 粒子 “uuddss” は Λ - Λ と量子数が同じであるため、 $\Lambda\Lambda$ 核の存在は軽い H 粒子を排除するという関係にある。このように、H 粒子の存在の可能性も含めて、 Λ - Λ 間相互作用の大きさを明確に決定する必要性が近年高まっている。

そこで我々は、 $K^- + p \rightarrow K^+ + \Xi^-$ 、 $\Xi^- + p \rightarrow \Lambda\Lambda + Q$ (28MeV) の2段階反応を使って、 ^9Be ターゲットに Ξ^- 粒子を吸収させて比較的軽い $\Lambda\Lambda$ 核を生成し、 $\Lambda\Lambda$ 核からの弱い相互作用による連続した π 粒子崩壊を円筒型検出器系で同定し、 π 粒子の運動量を測定することで $\Lambda\Lambda$ 核の質量を測定する実験を提案、米国ブルックヘブン国立研究所の AGS 加速器において E906 実験として承認され実験を行った。

実験に先立って、E906 実験のための円筒型検出器系 (CDS) を開発した。CDS は、He ベースのガスを使った円筒型ドリフトチェンバー (CDC)、それを取り囲む MWPC 型カソード読み出しチェンバー (CDZ)、磁場中でも動作可能なトリガー用ホドスコープ (CDH)、磁場が

一様なソレノイド磁石で構成される。CDS 全体として高立体角を実現するようデザインされ、 4π に対して約 60% 以上を実現している。検出を目的としている $100\text{MeV}/c$ 付近の π^- 粒子は、チェンバー内部での多重散乱からの影響が無視できないため、CDC では物質量を低く押さえるように努力、設計された。宇宙線を使ったテストでは約 $230\mu\text{m}$ の分解能が得られている。ソレノイド磁場は、チェンバーの有効体積内で 0.5T の磁場に対して 0.5% 以下の変化率の一様性を実現した。最終的に、CDS では $100\text{MeV}/c$ π^- に対して約 $8\text{MeV}/c$ (FWHM) の精度が得られることが確認された。

1997 年度 4 月より 2 ヶ月、1998 年 9 月より 2 ヶ月半実験を行った。1998 年度の実験では 1×10^{12} 個の K^- を ${}^9\text{Be}$ ターゲットに照射し、約 1×10^5 の (K^-, K^+) 反応が得られた。(K^-, K^+) 反応と同期して、 $S=-2$ 系より放出された崩壊 π^- の運動量ヒストグラムがえられ、予想される自由 Ξ 粒子崩壊からの 2 つの π^- より多いイベントを確認した。それらは $\Lambda\Lambda$ ハイパー核を含む $S=-2$ 系からの π^- が期待される領域 ($90 \sim 140\text{MeV}/c$) に偏っており、われわれの方法により $S=-2$ 系のハイパー核生成を確認したといえる。その中でも特に、 ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H} \rightarrow {}_{\Lambda}4\text{He} + \pi^-$, ${}_{\Lambda}4\text{He} \rightarrow 3\text{He} + p + \pi^-$ の π^- を同定した。得られた ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H} \rightarrow {}_{\Lambda}4\text{He} + \pi^-$ 崩壊の π^- ヒストグラムをガウス関数フィッティングして、事象数として 22.8 ± 6.0 がえられ、バックグラウンド数の平方根 $\sqrt{9.0}$ に対して十分な統計量を与えている。また、 ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H}$ 崩壊の π^- 中間子の運動量として 116.4 ± 1.4 (統計誤差) ± 1.2 (系統誤差) (MeV/c) がえられた。これは ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H}$ の崩壊が主として ${}_{\Lambda}4\text{He}$ の励起状態 ($ex=1.15\text{MeV}$) へ起こるとすれば、 ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H}$ の質量として 4106.2 ± 0.94 (統計誤差) ± 0.80 (系統誤差) (MeV) を与える。原子核中での $\Lambda\Lambda$ 相互作用を表現する物理量としてボンドエネルギー; $\Delta B_{\Lambda\Lambda}$ を考えると、 $\Delta B_{\Lambda\Lambda} = 0.47 \pm 0.94$ (統計誤差) ± 0.80 (系統誤差) (MeV) と換算される。

${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H}$ はぎりぎり束縛されると予想されており、採用する $\Lambda\Lambda$ 間相互作用の符号により束縛するか、しないかが変わる。今回の結果により ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H}$ が存在することが確認されたため、 $\Lambda\Lambda$ 間相互作用は引力的であることがわかった。さらに今回得られた ${}_{\Lambda\Lambda}4\text{H}$ の質量により H 粒子の質量の下限値として、 $M_{\text{H}} > 2230, 6 \pm 0.94$ (統計誤差) ± 0.80 (系統誤差) (MeV)、という限定を与えることができた。