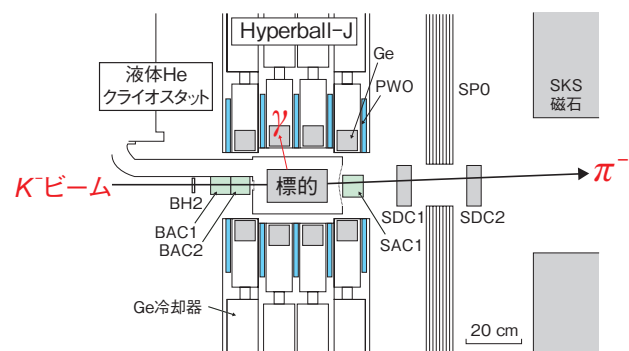


3-4 “奇妙な粒子”が原子核の荷電対称性を破る ーヘリウムΛハイパー核準位の精密測定に成功ー

(a) J-PARC-E13 実験装置



(b) ハイパー核の生成反応

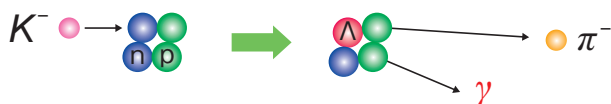


図 3-9 (a) J-PARC-E13 実験装置と (b) ハイパー核の生成反応

(a) γ 線検出器 (Hyperball-J), ${}^4\text{He}$ 標的及び K^- , π^- 識別用検出器 (BAC1, BAC2, SAC1) から構成されます。

(b) $K^- + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4_\Lambda\text{He} + \pi^- + \gamma$ 反応を模式的に示したものです。

通常の原子核では陽子と中性子を入れ替えた二つの原子核（鏡像核）の質量はほぼ同じです。これを荷電対称性と呼びます。では、奇妙な粒子と呼ばれる Λ 粒子が入った原子核（ハイパー核）ではどうなるのでしょうか。 Λ 粒子は、陽子や中性子と同様の重粒子ですが、軽いアップ、ダウンクォークのみから構成される陽子、中性子とは異なり、やや重いストレンジクォークが1個入っています。

過去に行われたハイパー核 ${}^4_\Lambda\text{He}$ の γ 線測定実験の結果では、鏡像核である ${}^4_\Lambda\text{H}$ の基底状態と励起状態それぞれとの質量差がほとんどなく、荷電対称性が成り立つという結果でした。しかしこの実験は、分解能、信号・ノイズ比が悪く、さらに高精度の測定による検証が必要でした。

そこで私たちは、大強度陽子加速器施設 J-PARC のハドロン実験施設における実験で世界最高強度の K^- 中間子 2.3×10^{10} 個を ${}^4\text{He}$ 標的に照射し、 ${}^4_\Lambda\text{He}$ ハイパー核を生成し、高分解能の γ 線測定を行う実験を提案しました。この反応は、図 3-9 (b) のように、 $K^- + {}^4\text{He} \rightarrow {}^4_\Lambda\text{He} + \pi^- + \gamma$ となります。この実験のため、

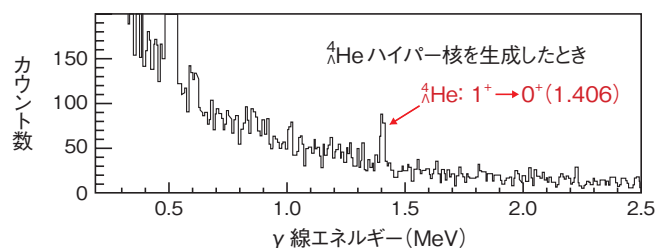


図 3-10 測定した γ 線のエネルギー分布

γ 線検出器によって測定された γ 線分布を示しています。 ${}^4_\Lambda\text{He}$ 生成反応候補のみを選択しました。

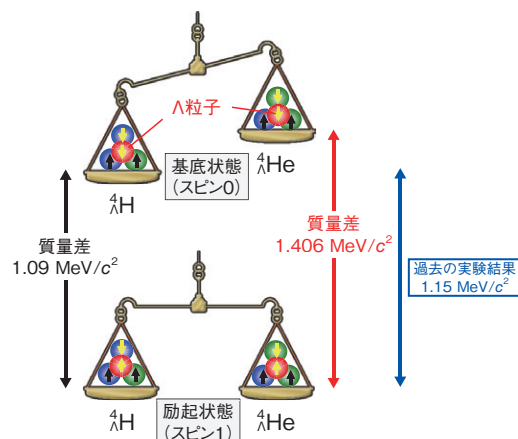


図 3-11 ${}^4_\Lambda\text{H}$ と ${}^4_\Lambda\text{He}$ の質量の比較

本実験で測定された ${}^4_\Lambda\text{He}$ の励起状態と基底状態の質量差は、 $1.406 \text{ MeV}/c^2$ ですが、鏡像核 ${}^4_\Lambda\text{H}$ の質量差は $1.09 \text{ MeV}/c^2$ であり、両者の間には $0.32 \text{ MeV}/c^2$ もの違いがあり、大きな荷電対称性の破れを示しました。

図 3-9 (a) のように 10^6 Hz 高強度ビームで動作する γ 線検出器を開発し、機械式 Ge 結晶冷却装置、PWO（タングステン酸鉛結晶）シンチレーションカウンタによる高速バックグラウンド除去技術を開発しました。また、図 3-9 (a) の高運動量分解能 K^- , π^- 検出器によりバックグラウンドを抑制しました。この結果、図 3-10 のような γ 線エネルギー分布が得られ、 ${}^4_\Lambda\text{He}$ の γ 線エネルギー分解能を 20 倍向上することに成功しました。

この実験で、私たちは図 3-11 のように励起状態と基底状態の質量差 $1.406 \text{ MeV}/c^2$ を測定しました。この高精度の実験データは、過去の実験結果 ($1.15 \text{ MeV}/c^2$) を否定することとなりました。この結果、通常原子核では $0.06 \text{ MeV}/c^2$ 程度であった質量差が、図 3-11 にある ${}^4_\Lambda\text{H}$ との比較により、ハイパー核では $0.32 \text{ MeV}/c^2$ と非常に大きく異なっていることを発見しました。この大きな質量差、すなわち荷電対称性の破れから Λ 粒子ー中性子間と Λ 粒子ー陽子間に働く力がスピン状態（励起状態）によって大きく異なることが分かり、陽子、中性子、 Λ 粒子等の重粒子間に働く力（核力）の解明に重要なデータを提供しました。

●参考文献

Yamamoto, T.O., Sako, H. et al., Observation of Spin-Dependent Charge Symmetry Breaking in ΛN Interaction: Gamma-Ray Spectroscopy of ${}^4_\Lambda\text{He}$, Physical Review Letters, vol.115, issue 22, 2015, p.222501-1-222501-5.