

3-2 “奇妙な粒子” による原子核の新しい存在形態 —反 K 中間子と二つの核子が強い相互作用で結びつく—

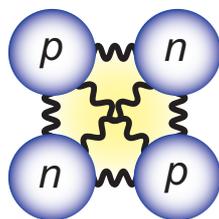


図 3-4 二つの陽子 (p) と二つの中性子 (n) の束縛状態
核力によって、各粒子が引力的に引き合い、束縛状態として原子核が形成されます。この図は ${}^4\text{He}$ 原子核を表します。

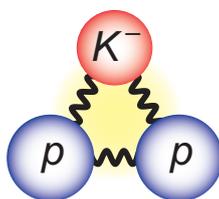


図 3-5 反 K 中間子と二つの核子の束縛状態
核力を一般化した強い相互作用によって、通常の原子核のような束縛状態が存在することが予想されています。構成粒子から、 K^-pp 束縛状態とも呼ばれます。

通常の原子核は、図 3-4 のように、陽子と中性子という、たった 2 種類の構成要素が核力で結びつけられて形成されます。陽子と中性子は、どちらもアップ及びダウンクォークのみから構成されるため、電荷の違いを除けば質量などの性質がよく似ています。陽子と中性子をあわせて核子と呼びます。

では、核子内部のアップ・ダウンクォークを違う種類のクォーク、例えばストレンジクォークに変えた場合、核力はどうなるのでしょうか。このように通常と異なるクォークを含む粒子間に働く力として核力を一般化したものを、強い相互作用と呼びます。これまでに、強い相互作用の性質が実験と理論の両面から盛んに研究されています。

核力は引力相互作用ですが、強い相互作用はクォークの種類で引にも斥力にもなって、その大きさも様々だと予想されています。色々な組合せの中でも最近特に注目されているのが、ストレンジクォークと反アップクォークを一つずつ持つ K^- 中間子と、陽子との強い相互作用です。 K^- 中間子と陽子との相互作用は強い引力であり、図 3-5 のような K^- 中間子と二つの陽子の束縛状態 (K^-pp 束縛状態、より正確には反 K 中間

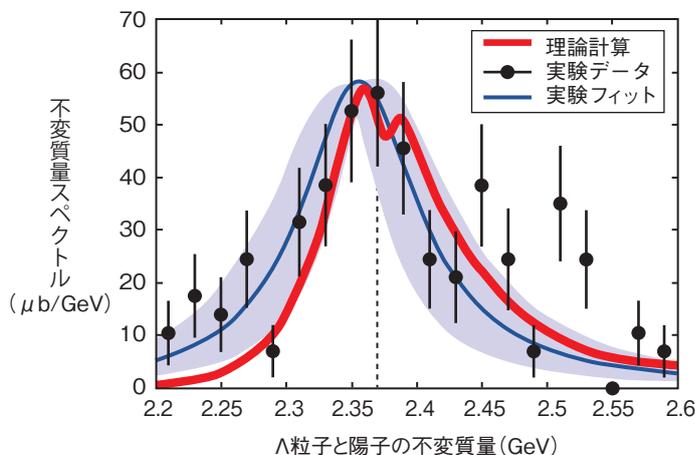


図 3-6 Λp 不変質量スペクトルの実験結果と理論計算
 $K^-{}^3\text{He} \rightarrow \Lambda pn$ 反応における Λ 粒子と陽子の不変質量スペクトルです。ただし、実験結果 (黒い点と青い帯) は理論 (赤い太線) との比較のために定数倍してあります。垂直方向の破線は K^-pp 系のしきい値です。

子と二つの核子の束縛状態) が存在する、と理論的に予言されたのです。

この K^-pp 束縛状態を実験で発見するには、ストレンジクォークを大量に生成できる施設が必要です。そこで私たちは、大強度陽子加速器施設 J-PARC のハドロン実験ホールにおける世界最高強度の実験で、 3.4×10^9 個の K^- 中間子を ${}^3\text{He}$ 標的に照射し、 $K^-{}^3\text{He} \rightarrow \Lambda pn$ 反応を観測しました。この実験により、 Λ 粒子と陽子の不変質量スペクトルに K^-pp 系のしきい値 (2.37 GeV) 近傍のピーク構造を発見しました (図 3-6)。このピーク構造は、 K^-pp 束縛状態のシグナルの可能性がります。

J-PARC 実験で得られたピーク構造の起源を調べるため、私たちは $K^-{}^3\text{He} \rightarrow \Lambda pn$ 反応の理論計算も行いました。 K^-pp 束縛状態が生成されたと仮定すると、図 3-6 の赤い太線が得られ、J-PARC 実験のピーク構造を定性的によく再現することが分かりました。これは、J-PARC 実験で K^-pp 束縛状態が本当に生成されたことを強く支持しています。

この束縛状態は、反 K 中間子という “奇妙な粒子” と二つの核子とが強い相互作用で結合した、新しい原子核の存在形態です。

●参考文献

Sada, Y., Tanida, K. et al., Structure near the $K^- + p + p$ Threshold in the In-Flight ${}^3\text{He}(K^-, \Lambda p)n$ Reaction, Progress of Theoretical and Experimental Physics, vol.2016, issue 5, 2016, p.051D01-1-051D01-11.
Sekihara, T. et al., On the Structure Observed in the In-Flight ${}^3\text{He}(K^-, \Lambda p)n$ Reaction at J-PARC, Progress of Theoretical and Experimental Physics, vol.2016, issue 12, 2016, p.123D03-1-123D03-27.