

K 中間子原子核と見られる信号を観測 — 原子核の超高密度状態の実現を示唆 —

京都大学大学院理学研究科 永江 知文 教授 と 藤岡 宏之 助教を中心とする¹⁾国際共同研究グループは、²⁾K 中間子原子核と呼ばれる全く³⁾新しいタイプの原子核と見られる信号を実験により観測しました。また、この度の観測結果は、K 中間子原子核が普通の原子核を結びつけている力の十倍程度の強い力で結合している可能性を示唆するものです。このことは、原子核内において⁴⁾超高密度状態が実現している可能性を示しています。これまで、このような状態は⁵⁾中性子星といわれる天体内でのみ実現していると考えられてきました。

この研究は、茨城県東海村にある⁶⁾大強度陽子加速器施設 J-PARC の⁷⁾ハドロン実験施設で行われた共同利用実験 E27 (平成 24 年 6 月 9 日～7 月 1 日に実験データ取得)によるものです。研究結果は、我が国の論文雑誌 Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP; 2013 年より Progress of Theoretical Physics を引き継いで創刊された国際学術雑誌。日本物理学会刊行。)に掲載予定です。

[実験の概要]

研究グループは、J-PARC ハドロン実験施設の K1.8 ビームラインにおいて、 π 中間子ビームを重陽子標的に照射し、その反応で前方に放出される正 K 中間子を測定する実験を行いました。同グループは、このときわずかな確率で生成される K 中間子原子核 K_{pp} らしき信号を検出することに成功しました。K 中間子原子核 K_{pp} は 2 個の陽子と 1 個の負 K 中間子から成る最も単純な K 中間子原子核です。この K 中間子原子核の検出は、 K_{pp} 状態が⁸⁾ハイペロンと陽子に崩壊する際に放出される 2 個の陽子を捉えることにより可能となります (図 1)。今回の実験では、2 個のエネルギーの高い陽子を捉えました。また、その際に前方に放出される正 K 中間子のエネルギーを測定した結果、この K 中間子原子核の結合のエネルギーと見られるエネルギーは、通常の原子核において陽子や中性子 1 個当たりがもつ結合エネルギー (約 8MeV) の十倍程度にのぼることがわかりました (図 2)。

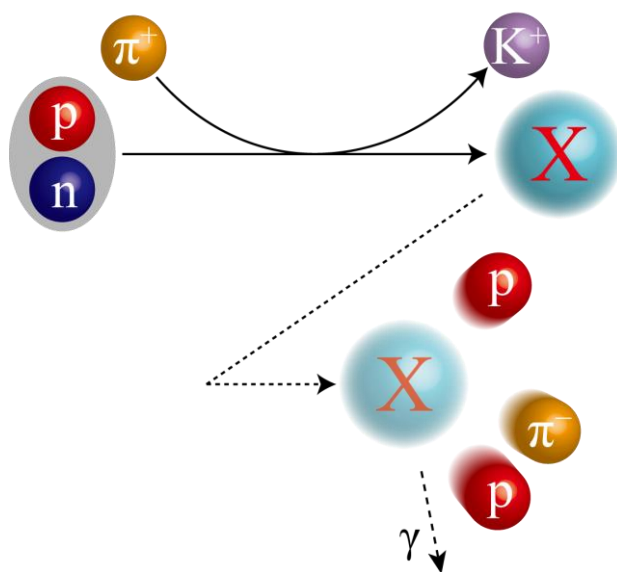


図 1: K_{pp} 束縛状態 (図中“X”で示される) の生成反応とその崩壊の様式。入射運動量 $1.69\text{GeV}/c$ の π^+ 中間子を重陽子標的に照射して K_{pp} 状態を生成。この状態に特徴的な崩壊様式から放出される 2 個のエネルギーの高い陽子を検出することにより信号を確認。

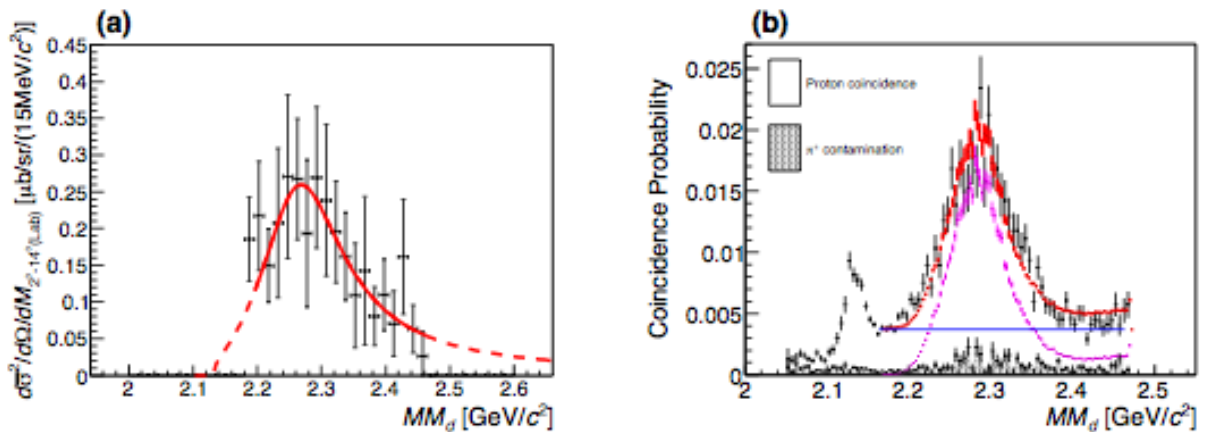


図 2: 観測された K 中間子原子核 K_{pp} の質量分布 ((a) 陽子 2 個を測定した場合)。赤い線のピークが K_{pp} の質量 (約 2.275 GeV) に相当する。これは、 K_{pp} の束縛エネルギーが約 100 MeV であることを意味する。(b) 陽子 1 個を測定した場合にも似たような構造を観測。

[背景]

K_{pp} 束縛状態は、2002 年に日本の研究者、赤石義紀・山崎敏光両氏により存在が予言され、多くの研究者が探していたものです。イタリアやフランスの加速器を利用した実験において、日本人研究者がデータ解析を主導して、その証拠らしきものを報告していましたが、他の実験による検証が待たれていました。赤石・山崎らの計算以降、多くの理論計算もなされ、 K_{pp} 束縛状態の存在は理論的に予想されていましたが、今回の実験で観測されたような大きな束縛エネルギー (通常の原子核の結合エネルギーのおよそ十倍) は理論計算では再現できていません。

その意味で、この大きな束縛エネルギーが K 中間子と原子核との相互作用に起因するものなのかどうかは、今後の詳細な研究が必要かもしれません。今回見つかった K_{pp} らしき状態は核子数 (陽子と中性子の個数和) が 2 個の K 中間子原子核ですが、今後の研究として、核子数が増えた際にその性質がどう変化するか、あるいは、K 中間子が 2 個になったらどうなるか、などに興味を持たれます。

本研究は、MEXT 科研費 17070005, 22105506 の助成を受けたものです。



[用語説明]

1)E27 国際共同研究グループ

京都大学を中心とする研究グループ。日本(京都大学、東北大学、大阪大学、高エネルギー加速器研究機構、日本原子力研究開発機構、大阪大学核物理研究センター)、韓国、イタリア、ロシア、インドの5ヶ国の研究者44名から構成される。

2)K 中間子、K 中間子原子核

K 中間子は、湯川博士が予言した π 中間子の仲間の粒子。ストレンジネス量子数-1を持つ(ストレンジクォークを含む)。

K 中間子原子核は、2002年に赤石義紀、山崎敏光によってその存在が示唆された。イタリアのフラスカッティ研究所での FINUDA 実験やフランスのサチューン研究所の DISTO 実験において、K 中間子原子核と見られる信号を観測したとの報告があったが、新しい実験による確認が待たれていた。

3)新しいタイプの原子核

これまでに見つかっている原子核は、陽子や中性子の仲間を含むバリオン族の粒子のみから成る原子核であった。今回、観測した原子核らしき状態は、メソン(クォークと反クォークから成る π 中間子の仲間)とバリオン(クォーク3個から成る)の複合系と見られるところが新しい。

4)超高密度状態

通常の原子核は、その中心密度は約 10^{14}g/cm^3 と一定である。中性子星の場合は大きな重力により、また、K 中間子原子核の場合は強い核力により、その数倍以上の超高密度が実現している可能性が高い。

5)中性子星

太陽質量の2倍程度の質量を持ちながら、その半径は10 km程度と太陽の7万分の1しかない天体。パルサー(パルス状の可視光線、電波、X線を発生する天体)として発見された。中性子からなる巨大な原子核ともみなせる。星の寿命が尽きたところで起きる超新星爆発の残骸として形成される。

6)大強度陽子加速器施設 J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex)

日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構が共同で運営している加速器施設。リニアック、3GeV シンクロトロン、50GeV シンクロトロンの加速器群と、物質・生命科学実験施設、ニュートリノ実験施設、ハドロン実験施設の実験施設群から成り、素粒子物理、原子核物理、物質科学、生命科学、原子力など幅広い分野で最先端の研究を行っている。

7)ハドロン実験施設

J-PARCの3つの実験施設のひとつ。50 GeV シンクロトロンから取り出した陽子ビームにより、 π 中間子や K 中間子のビームを発生させ、素粒子・原子核の研究に利用する。ハドロンとは、クォークから構成される粒子の総称。クォーク3個から成るバリオン族(陽子や中性子の仲間)とクォークと反クォークから成るメソン族(π 中間子の仲間)に大別される。

8)ハイペロン

ストレンジネス量子数をもった陽子や中性子と同じバリオン族の粒子。 Λ (ラムダ)、 Σ (シグマ)、 Ξ (グザイ)などの粒子がある。