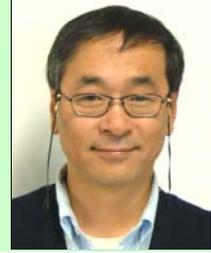


K 中間子深束縛核探査実験 Search for deeply bound kaonic state

岩崎 雅彦 (Iwasaki Masahiko)
(独)理化学研究所・岩崎先端中間子研究室・主任研究員



研究の概要：中間子が原子核中でどのように振る舞うかは極めて重要な問題である。特に K 中間子の場合、核内の核子とアイソスピン 0 のチャンネルで極めて強い引力的相互作用を持つことが K 中間子原子の X 線観測から知られており、自発的に高密度状態を生成する可能性が高い。この為、ヘリウム標的中の静止 K 中間子による反応により、K 中間子束縛核状態の探索実験を行う。

研究分野／科研費の分科・細目／キーワード
物理学／素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理／核物理

1. 研究開始当初の背景・動機

中間子が原子核に強く束縛した状態が存在することは、我々の π 中間子の研究で明らかになった。 π 中間子の束縛は主にクーロン力に起因し、核力(強い相互作用)は斥力である。K 中間子の場合、核力自身が強い引力的であり、K 中間子束縛核状態が存在すれば、通常原子核を超えた高密度状態が自発的に形成されることが予想される。このような状態を世界に先駆けて特定する為の探査実験を行う。

2. 研究の目的

高密度核状態が形成されれば、素粒子の中でもハドロン質量の起源を探ると言う物理の究極的問題解決の糸口を与える可能性が在る。このため、このような K 中間子束縛核状態が存在するかどうかの探査実験を行う。

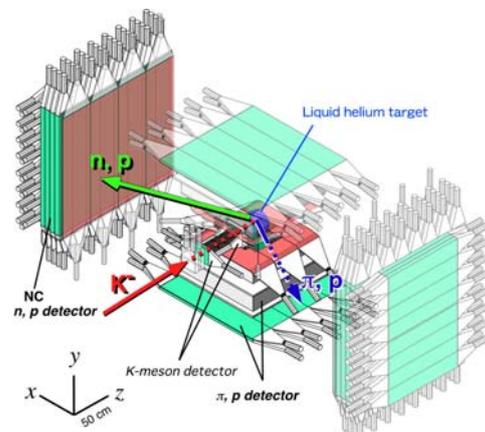
3. 研究の方法

実験は、高エネルギー加速器研究機構 12 GeV 陽子シンクロトロン(KEK-PS)から供給される、K 中間子を用いて行う。K 中間子を超流動液体ヘリウム標的に静止させると、吸収反応 (K^- , p) 及び (K^- , n) により陽子・中性子が生成する。これら核子について、ビームラインから見て 90° 方向に置かれたマトリックス状に分割された大型プラスチックシンチレーターアレイにより検出し、エネルギー情報により粒子識別すると共に、飛行時間からそれら核子のエネルギー分光を行う。また、反応のキネマティクスを特定する為、荷電粒子の飛跡を検出する必要があるため、この為大型のドリフトチェンバーを使用した。

4. 研究の主な成果

K 中間子と核子とはアイソスピン 0 チャンネルで強い引力を持つ。このことから、 $\Lambda(1405)$ 共鳴は K 中間子と核子との束縛状態と言う解釈が成り立つ。このことから、赤石・山崎等は実験開始前に、全アイソスピン 0 の K 中間子束縛核 $\langle K^-ppn \rangle^{T=0}$ が束縛エネルギー 110 MeV、崩壊幅 20~30 MeV で形成されると予言がしていた。

もしこのような状態が本当に存在すれば、 $K^- + {}^4\text{He} \rightarrow n + \langle K^-ppn \rangle^{T=0}$ 反応により生成可能であり、ヘリウム中での静止 K 吸収反応により、特定のエネルギーをもった中性子が放出されることにより、その存在を同定できる。このことから、中性子分光を主目的とする K 中間子束縛核探査実験が計画され、KEK PS 実験課題評価委員会により課題番号 E471 として認められ、2002 年から実験準備が始まった。本課題予算で実現した実験装置を以下に示す。

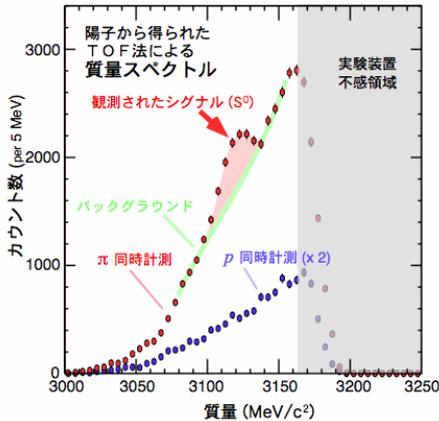


当初から中性子分光が主目的であった為、

〔4. 研究の主な成果 (続き)〕

図に示したように、**K** 中間子の反応位置を反応で生成した荷電粒子の飛跡から特定する為の大型のドリフトチェンバーが上下方向に配置されているが、水平に配置された中性子・陽子検出器方向には荷電粒子検出用のチェンバーは配置されていない。

実験の結果、予想に反して陽子スペクトル上に図に示すような非常に幅の狭いピークが見つかった (下図)。もし、これが **K** 中間子束縛核状態の形成に伴うピークであるとすれば、生成された状態は、いくつかの点で極めて驚くべき性質



を持たなければ成らない。

この反応は、 $K^- + {}^4\text{He} \rightarrow p + (K^- pnn)^{T=1}$ と表され、全アイソスピンは 1 でなければ成らない。また、束縛エネルギーはおおよそ 200 MeV と非常に強く、かつエネルギー幅も 20 MeV 以下と極めて狭く、準安定に存在すると考えられる。そもそも、全アイソスピン 1 が 0 の状態よりエネルギー的に安定であること自身、異常であるばかりでなく、桁外れに大きな束縛エネルギーから、安定な状態では原子核密度は常に一定と言う常識を超えた、超高密度状態が形成された事を意味する。

この結果が真実であるかどうかは、極めて重大な物理学上の問題であり、高い精度での追試が極めて緊急の課題となる。我々は大幅に性能を上げた実験装置による KEK PS-E549 実験を提案し、2005 年に追試実験を行った。改良の最大のポイントは、水平方向にも荷電粒子飛程検出用のチェンバーを配置し、最大の課題となる (K^- , p) 反応について、完全にインクルーシブなスペクトルを得られるようにすると共に、飛行時間分析の為の情報に冗長性を持たせた点である。

この追試実験の結果、E471 で観測された、幅の狭いピークは再現されず、逆に幅の狭い **K** 中間子原子核状態の生成率について、厳しい上限値を与える結果となった。何故、E471 実験で狭い幅のピークが観測

されたかについても特定され、このことについても複数の国際会議等で報告すると共に、その詳細が EPJ に掲載されることになっている。

全アイソスピン 1 の深く束縛された極めて幅の狭い状態の生成は否定されたが、この結果は、より広い幅の **K** 束縛核の存在自体を否定するものではなく、反応で生成した粒子の多粒子相関や、それによる不変質量分布分析により、より感度を上げた解析が現在行われており、INPC07 に於いて発表予定。

5. 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

当初の、E471 実験で陽子スペクトルに観測された狭い幅のピークは、極めて異常であると共に、**K** 中間子が原子核内に導入されたことによる通常核密度を超えた準安定状態の形成を意味し、超高密度での核物理の幕開けとして極めて大きなインパクトを持って迎えられた。実際、世界各地で種々の方法による **K** 中間子束縛核探索実験が開始され現在も研究が続いている。

一方、当該研究を端緒として、数多くの理論研究も進展し、少数核系系では、当初予想よりエネルギー幅は広いが、**K** 中間子束縛状態が存在する方が自然であると広く考えられるようになった。

我々も、J-PARC に於いて、in-flight 法を用いた、よりバックグラウンドの低く、遥かに検出効率の高い実験を実現すべく、現在準備を進めている。

6. 主な発表論文

- (研究代表者は太字、研究分担者には下線)
- "Search for a kaonic nuclear state via ${}^4\text{He}(K^-, N)$ reaction at rest",
M. Iwasaki et al., To be published in Euro. Phys. Journal (2007)
- "Precision spectroscopy of kaonic helium-4 X-rays",
R.S. Hayano et al., To be published in Euro. Phys. Journal (2007)
- "Measurement of the kaonic hydrogen X-ray spectrum",
G. Beer et al., Phys. Rev. Lett., 94, 212302, 2005
- "A search for deeply bound kaonic nuclear states",
T.Suzuki et al., Nuclear Physics A, 754, 375c-382c, 2005
- "Discovery of a strange tribaryon $S^0(3115)$ in ${}^4\text{He}(\text{stopped } K^-, p)$ reaction",
T.Suzuki et al., Phys. Lett., B597: 263-269, 2004

ホームページ等

<http://meson.riken.jp/knucl/index-j.html>