

論文内容の要旨

論文題目

Study of $\bar{K}NN$ system produced via the stopped K^- absorption reactions in the FINUDA experiment

(FINUDA実験における静止 K^- 吸収反応により生成される $\bar{K}NN$ 系の研究)

氏名 藤岡 宏之

1960年代から70年代にかけて、静止した負 K 中間子の原子核への吸収についての実験が数多く行われていた。 K 中間子が原子核中の1核子に吸収される過程(1核子吸収)が支配的であるが、1核子吸収では説明できない多核子吸収が20%程度の割合で存在することが知られていた。当時の実験は泡箱や原子核乾板を用いたもので、荷電粒子の検出しか出来なかったために多核子吸収について詳細に調べることは困難であった。負 π 中間子の場合には準自由過程の2核子吸収が観測されており、 K 中間子についても同様に準自由過程の2核子吸収が起こることが期待されていた。

我々はイタリア・フラスカティ研究所にある ϕ 中間子工場DAΦNEにおいて、大立体角のソレノイド型スペクトロメータを用いたFINUDA実験を行っている。静止 K 中間子吸収反応に伴い放出される荷電粒子と中性子の検出が可能で、ハイペロン(本稿中では Λ 粒子もしくは Σ 粒子)と核子の同時測定により2核子吸収の研究を行った。

既に2003-2004年にかけて取得したデータの解析において、 Λ 粒子と陽子の対を初めて観測することに成功していた。しかし、 Λ 粒子と陽子の不変質量が始状態(K 中間子と2陽子)のエネルギー閾値付近に分布せず、そこから100MeV程度減少して広がっていることが分かった。この不変質量分布を単純に準自由2核子吸収過程に起因するものとして説明することは困難で、 K 中間子と2陽子の深い束縛状態(Kpp)が作られ、その2体崩壊を観測した

という仮説を提案した。当時、 K_{pp} を含むK中間子と原子核の束縛状態の存在が赤石・山崎により理論的に予想されていたが、観測された分布から求めた束縛エネルギーは彼らの理論計算と比べて大きく、その一方で深く束縛することで主要な崩壊モードである $\Sigma\pi$ チャンネルへの崩壊が抑制されるにも関わらず、崩壊中も広がっていた。ところが K_{pp} 仮説に対して、準自由2核子吸収のあと終状態相互作用などの二次的な過程を受けた、という解釈も存在しており、両解釈をはっきりと区別することはできなかった。

そのため、 $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle 以外の \langle ハイペロンと核子 \rangle 対の分布について、2核子吸収が果たして準自由過程として起こるかを実験的に測定することは、 $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle の分布を理解するために重要であると考えた。ただし、この時点では統計が十分でなかったために検出効率の低い中性子を含む他の終状態について詳細な解析をすることはできなかった。また $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle 対について標的毎の解析が困難であり、3種類の異なった原子核標的の足し合わせしか示すことができなかった。

そこで統計量を1桁増やすことで、他の \langle ハイペロンと核子 \rangle 対についても個々の標的毎の分布についても系統的に調べることを目指し、2回目のデータ収集を2006年11月～2007年6月にかけて行った。前回と異なり全てp殻の5種類の原子核標的 (${}^6\text{Li}$, ${}^7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{13}\text{C}$, D_2O) を用い、約5倍の積分ビームルミノシティに相当する負K中間子を原子核中に静止させた。

Λ 粒子と同様に、中性子と負 π 中間子の不変質量分布から負 Σ 粒子を同定することに成功した。その結果、 $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle 以外に、 $\langle\Lambda$ 粒子と中性子 \rangle と \langle 負 Σ 粒子と陽子 \rangle の3種類を同時に観測することに成功した。 $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle はK中間子の2陽子への吸収(pp吸収)であるが、 $\langle\Lambda$ 粒子と中性子 \rangle と \langle 負 Σ 粒子と陽子 \rangle は陽子と中性子の対への吸収(pn吸収)である。3種類のいずれにおいても反対方向にピークを持つ角度相関が見られ、2核子吸収によるものであることを示している。そこで反対向きに相関を持つ \langle ハイペロンと核子 \rangle 対を選び、解析を行った。

次に、準自由過程に起因するものかどうかを判定するために、ハイペロンと核子のエネルギー和分布を調べた。その結果、 $\langle\Lambda$ 粒子と中性子 \rangle と \langle 負 Σ 粒子と陽子 \rangle においては閾値付近に構造を持ち、負K中間子において準自由2核子吸収過程が確かに存在することが分かった。一方で、 $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle の分布はこれらと異なり、閾値付近から下に広がって連続的に分布しており、他の対で観測されたような閾値付近のはっきりとした構造は観測されなかった(図1)。

また個々の終状態を同定することにより、静止K中間子当たりの収量を評価した。 Λ 粒子を含む終状態についての結果を図2に示す。 $\langle\Lambda$ 粒子と陽子 \rangle の収量は5種類の標的について0.9～2.4%で、そのうち閾値近傍(エネルギー和が2.30～2.38GeVの範囲)の収量は0.2～0.4%と見積もられた。一方で、閾値近傍の $\langle\Lambda$ 粒子と中性子 \rangle の収量は2～3%で、エネルギー和

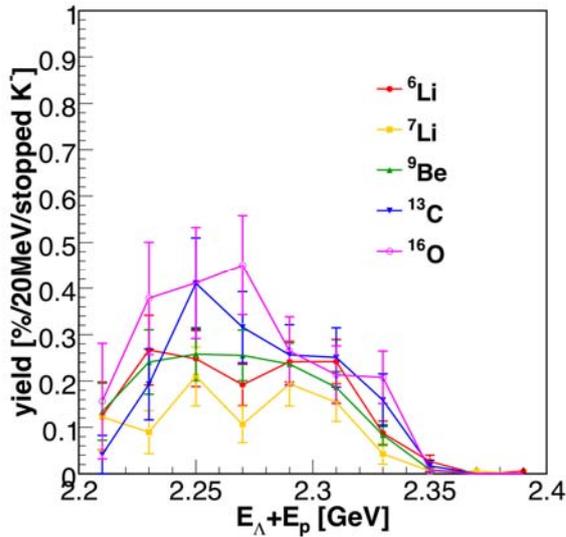


図 1: アクセプタンス補正後の〈Λ粒子と陽子〉のエネルギー和分布。

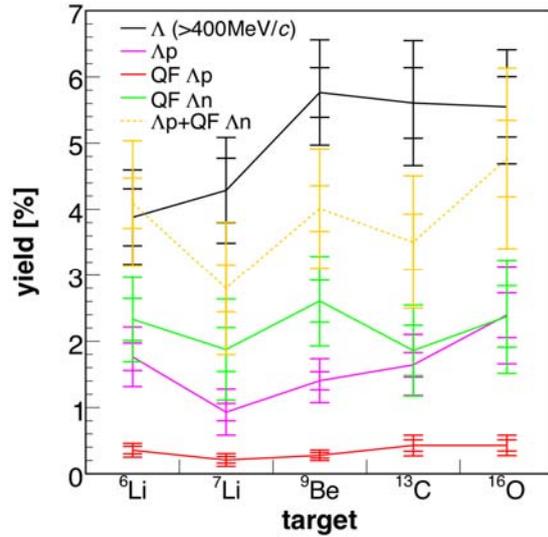


図 2: Λ粒子を含む終状態の静止 K 中間子あたりの収量。QF はエネルギー和が 2.30GeV 以上 2.38GeV 以下であることを示す。

が2.30GeV以下の収量は高々2%程度であることが分かった。

したがって閾値近傍に分布する割合という点で、〈Λ粒子と陽子〉と〈Λ粒子と中性子〉のエネルギー和分布が大きく異なっていることが分かった。このチャンネル依存性はpp吸収とpn吸収の間に吸収反応機構の違いがあることを示唆している。

ところで2005年にFINUDA実験が Kpp 状態の仮説を提案した後、 Kpp 状態についての様々な理論計算が行われるようになり、モデルによる結果の違いはあるものの束縛解の存在を示す計算が多い。一方で $\bar{K}N$ 間相互作用のアイソスピン依存性により Kpn 系は束縛状態を持たないか、束縛したとしても束縛エネルギーは小さいと考えられている。もし Kpp 束縛状態が存在したとすると、負K中間子と2陽子の吸収過程においてのみ準自由過程ではなく束縛状態を経由する可能性がある。そうであるならば、観測された〈Λ粒子と陽子〉の不変質量分布は Kpp 束縛状態に対応したものになると考えられる。今回のデータで得られた不変質量分布は標的毎の依存性が小さいことが確認され、また前回のデータとも矛盾していなかった。

また、別の解釈、すなわち準自由2核子吸収のあと二次過程を経た結果、観測される〈Λ粒子と陽子〉のエネルギー和が減少する可能性についても考察を行った。終状態相互作用を含む他の解釈においては Kpp 仮説と異なり強いアイソスピン依存性は生じないと考えられるため、実験で明らかになったチャンネル依存性を説明するのは困難であることが分か

った。

本研究を通じて、 Kpp という3体系の深い束縛状態が存在し、静止K中間子の吸収反応によってそれが生成される可能性を指摘した。今後行われる予定の Kpp 束縛状態の直接生成実験に対するインプットになると考えられる。