

(K^-,K^+)反応を用いた Ξ ハイパー核 $^{12}_{\Xi}\text{Be}$ の探索 (E05 パイロットラン)

2015年10月26日(月)~11月19日(木) (RUN64, RUN65)に行われた、 Ξ (グザイ) ハイパー核探索実験(E05パイロットラン)のデータ解析について報告をする。解析はまだ途中ではあるが、 $^{12}\text{C}(K^-,K^+)$ 反応により $^{12}_{\Xi}\text{Be}$ という Ξ ハイパー核の生成に成功したと考えている。

E05 実験は、J-PARC ハドロン実験施設の大強度 K^- 中間子ビームを使って、ストレンジネス量子数-2のハイパー核- Ξ ハイパー核-の束縛状態を生成する実験である。生成断面積は従来のストレンジネス-1の Λ ハイパー核の約千分の一(~60 nb/sr)と小さいため、 K^- 中間子ビーム強度の増強が待たれていた。ハドロン実験施設の K1.8 ビームラインは、最大運動量 2 GeV/c であり、二段の静電セパレーターを擁するという、この E05 実験のために最適化されたビームラインである。ハドロン実験施設での放射線物質漏えい事故による2年間のビームシャットダウンの後に、K1.8 ビームラインでは、39 kWの一次陽子ビームパワーが得られるようになり、600k/spill の K^- ビーム強度が実験に利用できるまでになった。これは、やっとハドロン実験施設が「 K^- ビームの時代」を迎えたことを意味する。米国ブルックヘブン研究所(BNL)の AGS 加速器で得られていた K^- ビーム強度に肩を並べられるところに近づいたといえる。 Ξ ハイパー核の(K^-,K^+)反応によるミッシングマス法による探索は、BNL-E885 実験[1]によって、最も統計精度の高いデータが得られている。しかし、残念なことに BNL では十分なエネルギー分解能をもったスペクトロメーターがなかったために、 Ξ ハイパー核の束縛状態をピークとして観測し束縛エネルギーを決定することができなかった(E885 のエネルギー分解能は 14 MeV(FWHM))。とはいえ、束縛エネルギー領域に約 50 事象の信号が観測され、そのスペクトルの形から Ξ 粒子の引力ポテンシャルの深さは Woods-Saxon 型のポテンシャルを仮定して 14 MeV 程度と見積もられた。

E05 実験では、エネルギー分解能 2 MeV (FWHM)を切ることを目指して S-2S と呼ばれる (K^-,K^+)反應用の磁気スペクトロメーター装置を準備している。中心運動量 1.3 GeV/c 付近で 60 msr の大きな立体角を持っている。設計運動量分解能($\Delta p/p$)は 5×10^{-4} であり、K1.8 ビームラインのスペクトロメーターと組み合わせて、測定されるハイパー核の励起エネルギーを 2 MeV 以下の分解能でピークとして観測する。

Ξ ハイパー核の存在を裏付けるもう一つの証拠が、KEK-PS E373 実験から「木曾事象」[2]として報告されている。事象の解釈は一意には決まっていないが、 Ξ と ^{14}N 原子核との束縛エネルギーとして 1.03 もしくは 3.87 MeV という大きな値が得られている。

このような背景のなか、既存の SKS スペクトロメーターを利用することにより 110 msr というこれまでに最大の立体角をもち、かつ 10 g/cm²の分厚い実験標的を使って Ξ ハイパー核の生成収量を大きくして、 K^- ビーム強度の不足を補うことが可能であることに気づいた。それでもエネルギー分解能は 6 MeV(FWHM)程度と、BNL-E885 の3倍近い良い性能を維持できる。折しも SKS は 2016 年始めには K1.1 ビームラインという別なビームラインに移設することが予定されており、SKS を使った測定の最後の機会として E05 パイロットランを実施した (Fig.1)。

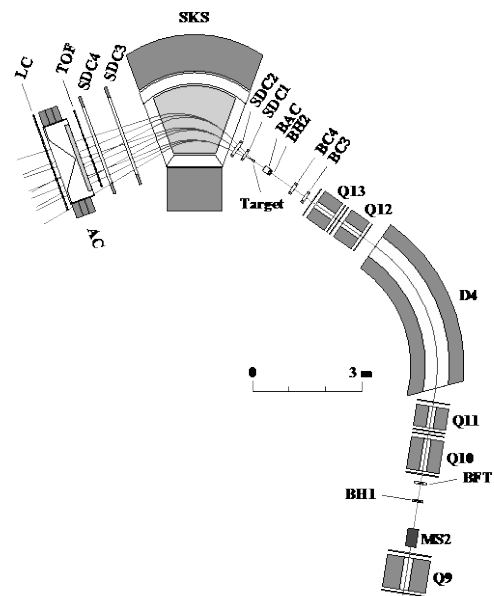


Fig. 1 E05 パイロットランの実験セットアップ(K1.8 ビームライン)。

パイロットランでは、炭素標的と較正用のポリエチレン標的に、合わせて 100G K^- ビームを照射した。これは今のところ J-PARC ハドロン実験施設における最高記録である。 Ξ^- 粒子の生成はポリエチレン標的中の陽子を使って、 $K^- p \rightarrow K^+ \Xi^-$ 反応で調べることができる。Figure 2 はその測定例であり、エネルギー分解能 5.4 MeV(FWHM)で Ξ^- のピークが観測されていることを示す。1日当たり 6000 個の Ξ^- が同定できている。 Ξ^- 粒子の生成断面積は、入射運動量 1.8 GeV/cでピークとなるのが、古い泡箱データから示唆されていたが、今回 2 桁程度統計精度を上げて確認することに成功した。

炭素標的では、準自由過程により生成されたほとんどの Ξ^- 粒子は原子核に束縛されずに核外に放出されてしまう。束縛される確率は 10^{-3} オーダーと見積もられている。Figure 3 に炭素標的を得られた Ξ^- ハイパー核のミッシングマス分布を示す。横軸は、0 MeV が Ξ^- 粒子の束縛閾値であり、-20 MeV で束縛エネルギーが 20 MeV に対応する。束縛エネルギーが 50 MeV より大きな領域には、物理的に信号はないはずであり、この領域にフラットなバックグラウンドがあることがわかる。 K^- ビームに起因する飛行中の崩壊事象が起因だと考えられる。その寄与は、1ビン当たり 1 事象程度と低い。束縛閾値から立ち上がっている成分は、 Ξ^- の準自由過程によるものである。束縛エネルギー 0 MeV~10 MeV 領域に明らかに束縛状態と考えられる構造が見える。我々のエネルギー分解能が約 6 MeV(FWHM)であり、一本のピークでは幅が大きすぎる。実は、このデータと BNL E885 のデータを重ねてみると両者は形の上では良く一致している。幅 6MeV の 2 本のピークを仮定してフィッティングすると、束縛エネルギーが 9 MeV と 2 MeV の状態の存在が示唆される。

まだまだデータ解析を詰める必要があるとともに、スペクトルの解釈にしても BNL E885 でやったような単純な Woods-Saxon 型ポテンシャルの解析ではなく現実的な理論模型による解析を進める必要がある。

最後に、J-PARC 加速器グループをはじめとし、一次陽子ビームグループ、実験室グループ、低温グループ等の御支援に感謝いたします。

References

- [1] P. Khaustov et al., Phys. Rev. C 61 (2000) 054603.
- [2] K. Nakazawa et al., PTEP (2015) 033D02.

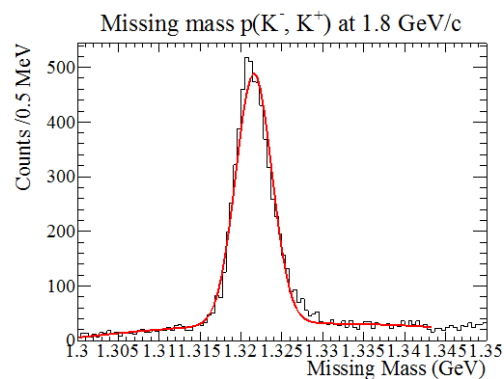


Fig. 2 $(K^-, K^+) \Xi^-$ 反応のミッシングマス分布。大きなピークがポリエチレン標的中の陽子の成分。バックグラウンドは炭素の寄与。

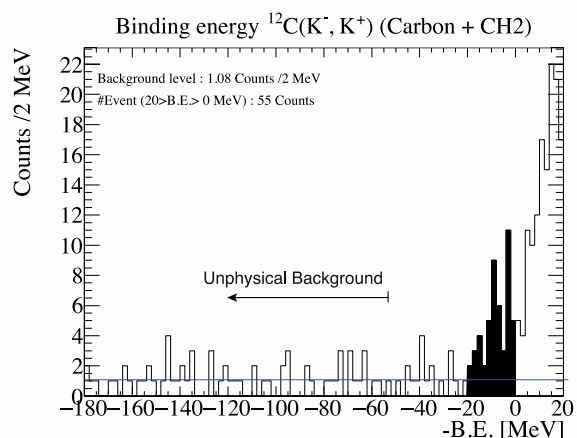


Fig. 3 $^{12}\text{C}(K^-, K^+)$ 反応のミッシングマス分布。束縛領域 (-20 MeV~0 MeV 黒色部分) に平坦なバックグラウンド(青線)を超えて有意な信号が観測できた。