

科学研究費助成事業(基盤研究(S))公表用資料 [研究進捗評価用]

平成23年度採択分
平成26年3月5日現在

エマルションによる大統計ダブルハイパー核生成実験

Systematic Study of Double-Hypernuclei with Nuclear Emulsion

仲澤 和馬 (NAKAZAWA KAZUMA)

岐阜大学・教育学部・教授



研究の概要：ハイペロン間の相互作用を知るべく、これまでに9例しかないダブルハイパー核を大統計で検出できる実験を遂行する。そのために、J-PARCの良質で高強度なK-ビームを原子核乾板に照射しハイペロンを2つ作るΞ粒子を全自動追跡し、NAGARA event と異なる新しい核を従来の10倍の統計を得て検出する。さらに乾板の全面スキャンを遂行し、約千個のダブルハイパー核を検出し、ストレンジネスを含むハドロン間相互作用を世界に先駆けて解明する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：原子核(実験)

1. 研究開始当初の背景

陽子と中性子とで記述される核力は、多くの知見が得られてきた。しかるに、ハイペロン間の相互作用は、NAGARA event に基づき、弱く引力的である、というものだけだった。

この相互作用の解明を主な目的の一つとして、良質で高強度のK-ビームが東海村のJ-PARCにおいて提供されることになった。そこで、以前の統計を画期的に向上すべく提案した実験がE07として採択され、実施可能な準備を進めることになった。

2. 研究の目的

NAGARA event では、ヘリウムと二つのハイペロン(ラムダ粒子)で構成された新種の原子核(ダブルハイパー核： $\Lambda\Lambda$ He)における結合エネルギーが測定されたが、核構造から生じる不定性を除いて相互作用を求めべく、他の原子核での測定を成功させる。その結果をもとに、ストレンジネスをも含めたハドロン間の相互作用を、理論家との密接な協力により、共同世界に先駆けて解明する。

3. 研究の方法

KEKの4倍近く高純度で、10倍の強度を持つK-ビームを、J-PARCで原子核乾板に照射し、ストレンジクォークを二つ持つグザイ粒子を乾板の原子核に吸収させ、ダブルハイパー核を作る。まず、半導体検出器で検出されたグザイ粒子を全自動で追跡しこれまでの10倍のダブルハイパー核を検出し、質量計測する。次いで、ダブルハイパー核の崩壊に特徴的な3つの分岐点を持つ事象を、全自動で

乾板全面を探索する。これにより、従来の100倍、約千個のダブルハイパー核の質量計測を実施する。

4. これまでの成果

①「ダブルハイパー核実験棟」の竣工

岐阜大学において、図1に示すように世界に類を見ない規模の「ダブルハイパー核実験棟」が竣工した。原子核乳剤・乾板を取り扱う施設であり、延べ床面積100m²の中に、塗布室・乾燥室・現像室を備えている。約2tの乳剤を、4カ月で乾板にする作業を実施中である。

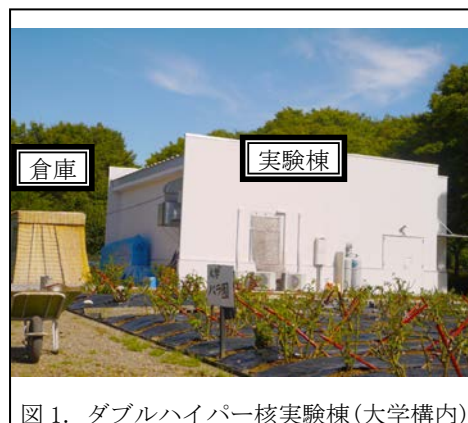


図1. ダブルハイパー核実験棟(大学構内)

②グザイ粒子の全自動追跡

これを実現するには、これまでの乾板どうしの位置合わせ精度約20μmを格段に向上させることが不可欠であった。そこで、乾板に垂直に入射しているビームの位置を、上流と下流の隣り合う乾板で測定し、それらの対応

付けを行い、 $25 \times 25 \text{ cm}^2$ の大きさの乾板のあらゆる場所で、全自動化に十分な $1.4 \pm 0.8 \mu\text{m}$ の精度の位置較正を実現した。これは、検出されるダブルハイパー核の崩壊に伴う娘粒子の全自動追跡をも可能とする。

③ 全面全自動スキャン

ダブルハイパー核の生成・崩壊に特徴的な3つの分岐点を持つ事象を、乾板全面において高速に検出する全面全自動スキャンは、表1のような仕様を達成した。

表1. 全面全自動スキャンの装備の仕様

	開始時 (H23年6月)	現在 (H26年2月)
対物レンズ	$\times 50$ (NA. 0.9)	$\times 20$ (NA. 0.35)
カメラ (frame rate)	CCD:XC_HR300 (100 fps)	CMOS:HXC20 (800 fps)
画素数(Pixel)	512×440	2039×357
撮像領域(μm)	130×110	1140×200
画像取得/視野	0.15 Hz	5.0 Hz

現在、採扱時の600倍速を達成し、時々画像を撮りこぼす不具合の検査が進行している。試験運用中に、500例ものシングルハイパー核や数個のダブルハイパー核候補が検出されている。新たなダブルハイパー核の1例を図2に示す。これは、ビームが乾板の原子核と起こした反応によるもので、A、B、およびCが矢印で示した分岐点が、それぞれ、反応点(ダブルハイパー核の生成点)、崩壊点(シングルハイパー核の放出点)、およびシングルハイパー核の崩壊点である。

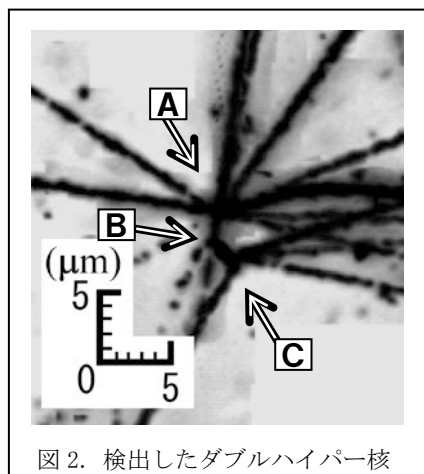


図2. 検出したダブルハイパー核

このようにして、約 10^3 個のダブルハイパー核を検出できる可能性が大きく広がっている。

5. 今後の計画

全面全自動スキャンの不具合を取り除きながら、①飛跡の電離損失(濃さの変化)で崩壊の娘粒子を元素識別する手法や、②検出したダブルハイパー核を半自動で素早く解析す

る手法の開発を進める。一方で、平成27年1月に予定されるビーム照射開始に向けて、グザイ粒子の位置・角度の測定に用いる半導体検出器を完成させ、グザイ粒子吸収に伴って放出されるX線・ γ 線測定用のGe検出器を早急に完成させるとともに、ビームラインの構築を進める計画である。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

- K. Nakazawa: Study of double- Λ hypernuclei at J-PARC, JPSJ Suppl. (in press)
- J. Yoshida, et al.,: New Methods and Technologies for Double-Lambda Hypernucleus search in Nuclear Emulsion in J-PARC E07, JPSJ Suppl. (in press)
- E. Hiyama, et al.: Alpha-clustered hypernuclei and chiral SU(3) dynamics, Prog. Theor. Exp. Phys. 013D01 (2014)
- K. Nakazawa: Experimental Study of the Interaction Between Two Lambda Hyperons, Few-Body Syst. 54, 1279-1282 (2013)
- J. K. Ahn, et al.: Double- Λ hypernuclei observed in a hybrid emulsion experiment, Phys. Rev. C 88, 014003-1~10 (2013)
- E. Hiyama, et al.: Four-body structure of neutron-rich hypernuclei ${}^6_{\Lambda}\text{H}$, Nucl. Phys. A908, 29-39 (June 17, 2013)
- K. Fukukawa and Y. Fujiwara: Quark-Model Nucleon-Nucleon Interaction Applied to Neutron-Deuteron Scattering, Few-Body Syst. 54, 483-487 (2013)
- Y. Fujiwara and K. Fukukawa: Nucleon-Deuteron Breakup Differential Cross Sections Derived from the Quark-Model NN Interaction, Few-Body Syst., 54, 489-493 (2013)
- A. Li, et al.,: Tensor correlation pairing interaction and deformation in Ne isotopes and Ne hypernuclei, Phys. Rev. C87, 014310 (2013)
- E. Hiyama: Gaussian expansion method for few-body systems and its applications to atomic and nuclear physics, Prog. Theor. Exp. Phys. Special Issue, 01A204 (2012)
- Y. Fujiwara and K. Fukukawa: A Practical Method of Solving Cutoff Coulomb Problems in Momentum Space - Application to the Lippmann-Schwinger Resonating-Group Method and the pd Elastic Scattering -, Prog. Theor. Phys. 128, 301 (2012)

第33回(2013年) 猿橋賞受賞

肥山 詠美子(分担者)

ホームページ等

<http://www.phys.ed.gifu-u.ac.jp/>