

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740138

研究課題名(和文)ハイパー核ガンマ線分光に特化した中性パイオンスペクトロメータ開発

研究課題名(英文)Development of a pi0 spectrometer system for hypernuclear gamma-ray spectroscopy

研究代表者

鵜養 美冬(Ukai, Mifuyu)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30420053

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文):本研究は、荷電対称性のやぶれが示唆されている4体系ハイパー核($4\Lambda\text{H}$, $4\Lambda\text{He}$)の構造を明らかにすることを目的としている。 $4\Lambda\text{H}$ ハイパー核生成には、 (K^-, π^0) 反応を用いて生成する必要がある。そこで π^0 スペクトロメータの開発を行った。 π^0 を検出する、電磁シャワーを用いた鉛ガラスによるカロリメータの開発のための研究を行った。J-PARC K1.1 beam line において1 GeV/c 領域の π^0/e 弁別性能をテストした。また、 π^0 スペクトロメータの開発と並行し、2015年に行う予定の (K^-, π^-) 反応を用いた $4\Lambda\text{He}$ ハイパー核ガンマ線分光実験の準備を行った。

研究成果の概要(英文): Purpose of this work is to investigate a charge symmetry breaking between the $4\Lambda\text{-H}$ and the $4\Lambda\text{-He}$ hypernuclei via the gamma-ray spectroscopy. To observe a $4\Lambda\text{-He}$ gamma-ray, J-PARC E13 was planned and will be held in 2015. I prepared the whole system of E13, in particular, wide acceptance pi-spectrometer, SkMinus. On the other hand, To observe a $4\Lambda\text{-H}$ gamma-ray, pi0 spectrometer to tag the (K^-, π^0) reaction is needed. So that, in this work, pi0 spectrometer was developed. In particular, lead-glass calorimeter as a EM shower counter system was studied.

研究分野：原子核物理(実験)

キーワード：ハイパー核 ガンマ線分光

1. 研究開始当初の背景

A=4 ハイパー核である、 ${}^4_{\Lambda}H$ および ${}^4_{\Lambda}He$ のスピン二重項状態(1+, 0+)間隔は 1970 年代に NaI を用いてガンマ線エネルギーとして測定された。図 1 に示すように、 ${}^4_{\Lambda}H$ 二重項間隔が、1.08 MeV に対し、 ${}^4_{\Lambda}He$ 二重項間隔は 1.15 MeV と 100 keV もの差となっていた。このエネルギー差は p Λ と n Λ 間で荷電対称性が成り立たないことを示唆している。しかし、このように大きなエネルギー差を定量的に説明することはこれまで理論的に成功していない。

これら過去の NaI を用いた実験では、(1)静止 K- 吸収反応によるハイパーフラグメント生成としてそれぞれのハイパー核を生成していたため大きな反跳運動量を受けドップラーシフトによりガンマ線ピークが広がる (~100 keV)こと(2)1 MeV 領域のガンマ線に対し、50 keV(FWHM)分解能を持つ NaI シンチレーション検出器を用いていたため中心決定精度が悪いこと(3) ${}^4_{\Lambda}He$ ガンマ線の統計精度が乏しいこと、などの理由から、1 MeV 領域で数 keV の分解能を持つゲルマニウム検出器を用いて、ドップラーシフト補正が可能な直接生成反応を用いた高統計・高分解能測定が望まれていた。

そこで、ハイパー核ガンマ線分光実験用に開発されたゲルマニウム検出器群(Hyperball-J)を用いて、それぞれのハイパー核のエネルギー間隔を精密測定する。

${}^4_{\Lambda}He$ ガンマ線測定は、磁気スペクトロメータを用いた(K-, π^-)反応によるハイパー核ガンマ線分光実験(J-PARC E13)として J-PARC ハドロン実験施設 K1.8 beam line において 2013 年に行う予定であった。一方、 ${}^4_{\Lambda}H$ は、直接生成には(K-, π^0)反応を用いるため、 π^0 スペクトロメータシステムの開発が必要であった。

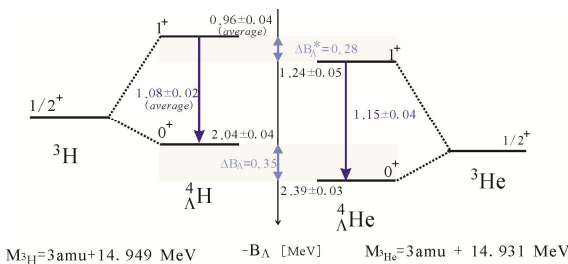


図 1 ${}^4_{\Lambda}H$ および ${}^4_{\Lambda}He$ の基底二重項状態(1+, 0+)間隔と Λ 束縛エネルギー

2. 研究の目的

${}^4_{\Lambda}H$ ハイパー核の構造を明らかにするため、(K-, π^0)反応を用いたハイパー核ガンマ線分光実験用 π^0 スペクトロメータの開発を行い、

この手法を用いたガンマ線分光実験の Feasibility を明らかにし、実験に必要なセットアップのデザインを行う。また、 ${}^4_{\Lambda}He$ のガンマ線分光実験 J-PARC E13 を遂行し、 ${}^4_{\Lambda}He(1+,0+)$ 間隔を高精度・高統計で決定する。

3. 研究の方法

ハイパー核ガンマ線分光用(K-, π^0)反応スペクトロメータシステムは、図 2 のような(1) $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 検出用のカロリメータ及び(2)反応点再構成用の弱崩壊(${}^4_{\Lambda}H \rightarrow \alpha + \pi^-$)による、 π^- 飛跡検出器で構成される。

$\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ 検出用カロリメータとして、鉛ガラスを用いた電磁シャワーカロリメータの開発を行う。鉛ガラスを用いることで、一般的に γ カロリメータとして用いている CsI 検出器などの無機シンチレータと比較して、大立体角のスペクトロメータが比較的安価で製作することができる。またハドロンビームを用いる実験において、トリガー段階において p/e 弁別を行うことが容易な検出器である。

このような目的で、鉛ガラス検出器の π/e 応答をビームを用いた実験で性能を評価する。

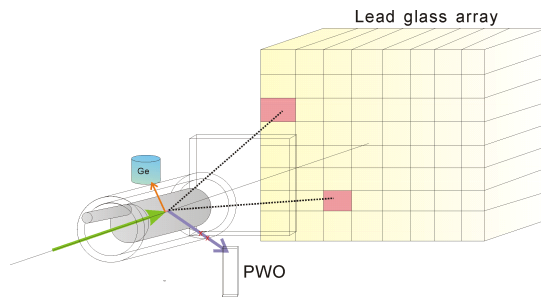


図 2 (K-, π^0)スペクトロメータ概略図

(K-, π^-)反応を用いた ${}^4_{\Lambda}He$ に関しては、(K-, π^-)反応を用いたハイパー核ガンマ線分光実験に特化した大立体角散乱スペクトロメータ(SksMinus)が 2013 年までに開発が行われた。このスペクトロメータを用いて K1.8 beam line において Hyperball-J を用いて、まず ${}^4_{\Lambda}He$ のガンマ線分光実験を行い、(1+, 0+)のエネルギー間隔を決定する。

4. 研究成果

4LH ガンマ線分光実験に関して、2012 年に J-PARC K1.1BR beam line において、1 GeV/c の π^- , e beam を用いて、鉛ガラス検出器の粒子識別能力の性能評価を行い、光電子増倍管の読み出しの配置を最適化することで要求性能が得られることが分かった。

弱崩壊 π^- エネルギー検出器として、Ge 検出器周りにコンプトンサプレッサーとして

配置してある PWO シンチレーション検出器の性能評価を行った。コンプトンサプレッサーとしては 100 keV 領域のガンマ線検出を目的としており、一方、 π^- 検出器としては 150 MeV のエネルギー領域での性能が必要となる。東北大学電子光物理学研究所(ELPH)において、200 MeV の陽電子ビームを PWO 検出器に照射し、性能評価を行った。この結果、コンプトンサプレッサーとしての能力を損なうことなく高エネルギーの応答を確かめることができた。

$^4_\Lambda\text{He}$ ガンマ線分光実験に関しては、2013 年には、 (K^-, p^-) 反応による $^4_\Lambda\text{He}$ ガンマ線分光実験(J-PARC E13)を 1.5 GeV/c の K- beam を用いて遂行の予定であったが、実験を行う予定の J-PARC ハドロン実験施設が事故による中断により 2015 年以降に延期された。当該研究期間においては、2013 年にビームを用いて取得した検出器調整用のデータ解析を行った。この結果から、SksMinus システムの性能評価を行い、デザインした性能が出ていることが確かめられた。また、ポリエチレン(CH₂)を用いたデータからは、ビーム運動量 1.8 GeV/c 及び 1.5 GeV/c (K^-, π^-) 反応によるハイパー核生成断面積の基礎データとなる $^{12}_\Lambda\text{C}$ の s-state, p-state の生成断面積データを初めて取得することができた。2015 年以降の再稼働時には、最初に E13 が行われることが決定しており、現在までにすべての検出器の再セットアップと性能確認を完了させた。

ゲルマニウム検出器のエネルギー決定精度を向上させるために、In-beam 下におけるガンマ線エネルギー測定用ゲルマニウム検出器エネルギー較正システムの開発を行った。東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター(CYRIC) 小型サイクロトロン(HM12)を用いて、 ^{34}Cl に熱中性子捕獲させたときに放出される 100 keV ~ 9 MeV までのガンマ線を検出し、我々の用いるゲルマニウム検出器のエネルギー較正曲線の応答を確認し、9 MeV までの検出効率測定を行った。また、J-PARC における実験中に常時ゲルマニウム検出器の分解能確認、エネルギー較正が可能となるように、TIG 溶接用のトリウムタングステン棒を用いたシステムを DAQ に組み込んだ。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 6 件)

H. Sugimura, M. Ukai (他 66 名中 62 番目)
Phys. Lett. B729(2014)39.

Study of $^6_\Lambda\text{H}$ hypernuclei by the $^6\text{Li}(p^-, K^+)$ reaction at $p_p = 1.2$ GeV/c

査読有

H. Tamura, M. Ukai (他 18 名中 16 番目)
Nucl. Phys. A914 (2013)99.

Gamma-ray spectroscopy of Hypernuclei-present and future

査読有

K. Hosomi, M. Ukai (他 34 名中 33 番目)
Nucl. Phys. A914 (2013)184.

Gamma-ray spectroscopy of $^{12}_\Lambda\text{C}$ via the (π^+, K^+) reaction

査読有

K. Agari, M. Ukai (他 46 名中 43 番目)
Prog. Theor. and Exp. Phys., 2012, 02B009

Secondary charged beam lines at the J-PARC Hadron experimental hall

査読有

T. Takahashi, M. Ukai (他 78 人中 73 番目)
Prog. Theor. and Exp. Phys., 2012, 02B010

Beam and SKS spectrometers at J-PARC K1.8 beam line

査読有

H. Tamura, M. Ukai, T.O. Yamamoto and T. Koike

Nucle. Phys. A881(2012) 310

Study of L hypernuclei using hadron beams and gamma-ray spectroscopy at J-PARC

査読有

[学会発表](計 2 件)

M. Ukai et al., Korea-Japan workshop on nuclear and hadron physics at J-PARC, March, 2014, Inha Univ., 仁川, 韓国
Prospect of A=4 hypernuclear spectroscopy with Hyperball-J

M. Ukai for the E13 collaboration,
20th Int. Conf. on Few-Body problems in Physics, Aug. 2012 福岡国際会議場, 福岡

Prospect for the gamma-ray spectroscopy of $^4_\Lambda\text{H}$ and $^4_\Lambda\text{He}$ hypernuclei at J-PARC.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者
鵜養 美冬 (UKAI, Mifuyu)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：30420053

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：