

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：82401
 研究種目：基盤研究(B)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22340049
 研究課題名（和文） 逆運動学・発熱荷電交換反応による不安定核のスピン応答
 研究課題名（英文） Spin responses of unstable exotic nuclei studied by exothermic charge-exchange reactions in inverse-kinematics
 研究代表者
 酒井 英行 (SAKAI HIDEYUKI)
 独立行政法人理化学研究所・共用促進・産業連携部・部長
 研究者番号：90030030

研究成果の概要（和文）：

不安定核ビーム (^{12}Be) を用い、従来不可能であった逆運動学による発熱型 (p, n) 型荷電交換反応測定を世界で最初に遂行し、中性子過剰な不安定核のスピン応答研究を進めた。特に、

- (1) 中性子過剰核 ^{12}Be を標的とするガモフ・テラー (GT) 巨大共鳴の測定と遷移強度の導出、
- (2) 低励起に現れるスピン・ダイポール共鳴測定による閉殻構造の破れの検証、

に関する結果を得た。より中性子過剰核である ^8He についてもデータを取得することができた。

研究成果の概要（英文）：

Using an unstable exotic beam of ^{12}Be , the exothermic charge-exchange (p, n) reaction which was not possible in the past was performed for the first time. The spin responses of very neutron rich nucleus $(N-Z)/A=0.33$ were studied. In particular, information on:

- (1) Gamow-Teller giant resonance and its strength,
- (2) Low lying spin dipole states as an indication of breakdown of neutron closed shell structure,

were obtained. Furthermore the measurement was extended successfully to more neutron rich nucleus ^8He which has $(N-Z)/A=0.5$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2011年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2012年度	3,300,000	990,000	4,290,000
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

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：発熱荷電交換反応、不安定核、スピン応答、ガモフ・テラー巨大共鳴

1. 研究開始当初の背景

スピン・アイソスピン応答は原子核物理学に於いて重要な地位を占めている。さまざまな応答が知られているが、本研究では主にガモフ・テラー (GT) 巨大共鳴 ($S=T=1, L=0$) とスピ

ン・ダイポール (SD) 共鳴 ($S=T=1, L=1$) を対象とする。例えば、GT 遷移は、核内での弱い相互作用過程やパイ中間子相関と密接に関連していて、それぞれ天体核物理やパイ中間子凝縮 (相転移) で極めて重要な役割を担っ

ている。一方、SD 共鳴からは、例えば中性子スキン厚が導出できる。これは中性子星での状態方程式の重要なパラメータに関連している。この GT 巨大共鳴や SD 共鳴を不安定核で測定できると、スピン・アイソスピン応答の研究のブレークスルーともなるので世界中で競って実験の計画をしていた。

2. 研究の目的

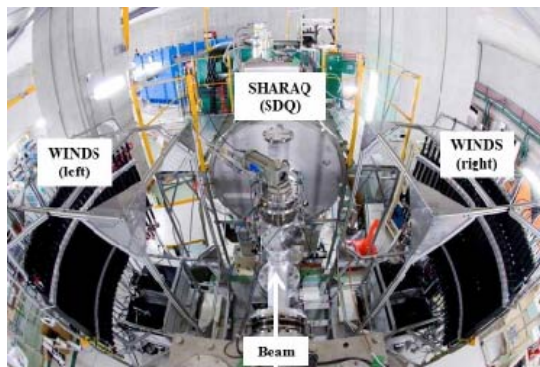
不安定核ビーム (^{12}Be) を用い、従来不可能であった逆運動学による発熱型 (p, n) 型荷電交換反応測定の測定手法を確立し、中性子過剰な不安定核のスピン応答の研究を推進するのが目的である。特に、以下の二つ
(1) 中性子過剰核 ^{12}Be を標的とするガモフ・テラー (GT) 巨大共鳴の測定と遷移強度の導出、(2) 低励起に現れるスピン・ダイポール共鳴測定による閉殻構造の破れの検証、に注目し研究を進める。

従来、スピン・アイソスピン応答は(ベータ崩壊を除き) 安定な原子核を対象 (標的) として中間エネルギー領域 (150-300MeV) の陽子や中性子ビームによる荷電交換反応を用いて研究されてきた。本研究は、その研究対象を不安定な原子核に拡大することを目指すものである。そのためには、核反応に於いて不安定核を標的とすることはできないので、標的と入射粒子(プローブ) の関係を入れ替え、いわゆる「逆運動学」による荷電交換反応測定を実現させなければいけない。

3. 研究の方法

目的達成のために、中性子過剰核 ^{12}Be (半減期 23.6 ミリ秒でベータ崩壊を起こす) による $^1\text{H} (^{12}\text{Be}, n) ^{12}\text{B}$ 反応を本研究では測定した (従来の順運動学の記法では $^{12}\text{Be} (p, n) ^{12}\text{B}$ 反応に対応する)。この反応の Q 値は、+10.9MeV で発熱反応である。この測定を実現するには、

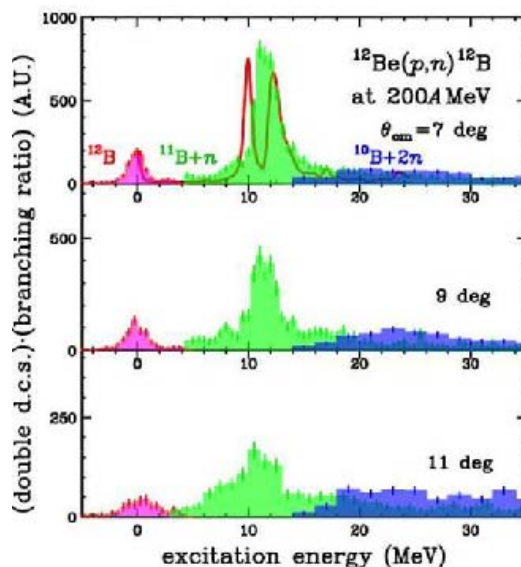
高強度の不安定核ビーム (^{12}Be) と低エネルギー



一反跳中性子と反応励起核 ($^{12}\text{B}^*$) の同時測定が必要不可欠である。理研 RIBF からは、世界最高強度で且つ GT 遷移の測定に最適な 200MeV/A のエネルギーの ^{12}Be (全運動エネルギーは 2.4GeV) が得られるとともに、反応励起核の検出が可能な SHARAQ スペクトロメータが備わり、ここに大立体角低エネルギー中性子検出装置 (WINDS) を建設することで、世界で先駆けて中間エネルギー領域での逆運動学による中性子過剰核 (p, n) 荷電交換反応測定を実現させた。写真は、実験セットアップの様相である。液体水素標的を中心とし、後方に設置されている SHARAQ 電磁スペクトロメータと左右に設置されている中性子測定装置 (WINDS) が写っている。

4. 研究成果

$^1\text{H} (^{12}\text{Be}, n) ^{12}\text{B}$ 反応の測定結果 (preliminary) を示した。励起エネルギー 11 MeV に位置するピークが GT 巨大共鳴によるものである。最新の鈴木 (日大) による殻模型計算 (赤線)

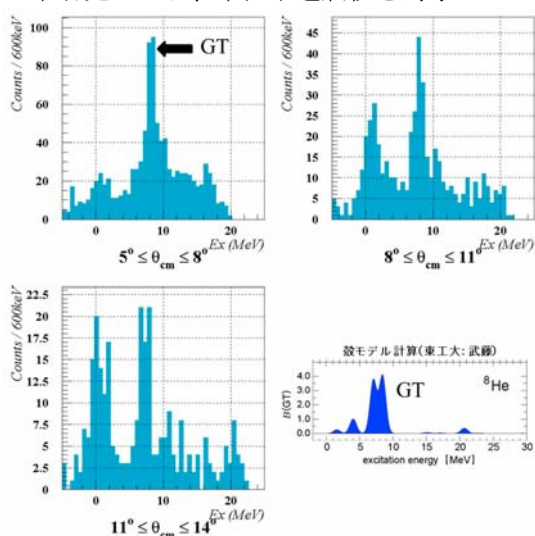


からは、GT 巨大共鳴は 3MeV 程度分離した二山になると予測されていたが、実験結果は一山に見えている。尚、エネルギー分解能は 2MeV 程度である。

$^1\text{H}(^8\text{He}, n)^8\text{Li}$ 反応の測定結果 (preliminary) も示した。

9MeV にあるピークが、SU(4) 超多重項モデルによる GT 遷移と考えられる。武藤 (東工大) による殻模型計算では、 ^{12}Be と同様に GT 巨大共鳴が二山になるのが示唆されている。

本研究により、中性子過剰核を対象とした



逆運動学による発熱型 (p, n) 反応測定の手法を確立させることができ、 $^1\text{H}(^{12}\text{Be}, n)^{12}\text{B}$ 反応と $^1\text{H}(^8\text{He}, n)^8\text{Li}$ 反応について世界で初めて GT 巨大共鳴測定に成功した。

尚、逆運動学による吸熱型 (p, n) 反応測定についても実験手法の開発を、米国ミシガン大学附属国立超電導サイクロトロン施設に於いて実施し、 ^{56}Ni と ^{55}Co 核について結果を得、論文として発表した。

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 4 件)

① M. Sasano, H. Sakai, K. Yako, et al.,

Extraction of Gamow-Teller strength distributions from ^{56}Ni and ^{55}Co via the (p, n) reaction in inverse kinematics, Physical Review C86 (2012), 034324, 査読有,

DOI: 10.1103/PhysRevC.86.034324

② H. Sakai, Nuclear Structure:

Spin-Isospin Excitations in Nuclei, AAPP Bulletin, 22 (2012) 8, 査読有

③ M. Sasano, H. Sakai, K. Yako, et al., Gamow-Teller Transition Strengths from ^{56}Ni , Physical Review Letters 107 (2011), 202501, 査読有, DOI:

10.1103/PhysRevLett.107.202501

④ T. Uesaka, H. Sakai et al.,

Analyzing power for proton elastic scattering from the neutron-rich He-6 nucleus, Physical Review C82 (2010), 021602, 査読有,

DOI: 10.1103/PhysRevC.82.021602

[学会発表] (計 4 件)

① K. Yako, H. Sakai, S. Shimoura et al., Development of WINDS for (p, n) measurements in inverse kinematics, 16th International Conference on Electromagnetic Isotope Separators and Techniques Related to their Applications (EMIS2012), Dec. 2-7, 2012, Kinibiki-Messe, Matsue, Japan.

② K. Yako, H. Sakai, S. Shimoura et al., Measurement of $^{12}\text{Be}(p, n)^{12}\text{B}$ reaction at 200 A MeV in inverse kinematics, Collective Motions in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX4), Oct. 22-26, 2012, Shonan Village Center, Kanagawa, Japan.

③ 矢向謙太郎, SHARAQ でのスピン-アイソス

ピン実験, 日本物理学会 2011 年秋季大会,
2011 年 9 月 16 日, 弘前大学 (青森県弘前
市)

- ④ 矢向謙太郎, 逆運動学 (p, n) 反応で見る
12Be のテンソル相関, RCNP研究会「核構
造の真の理解に向けて - テンソル力と高
運動量成分 - 戦略会議」, 2010年11月25
日, 大阪大学核物理研究センター(大阪府
茨木市)

[その他]

ホームページ等

http://nucl.phys.s.u-tokyo.ac.jp/sakai_g/index.html に本実験で使用した SHARAQ
電磁スペクトロメータおよび中性子検出器
アレイ WINDS の写真が掲載されている。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 英行 (SAKAI HIDEYUKI)

独立行政法人理化学研究所・共用促進・産
業連携部・部長

研究者番号 : 90030030

(2) 研究分担者

矢向 謙太郎 (YAKO KENTARO)

東京大学・大学院理学系研究科・准教授

研究者番号 : 50361572

(3) 連携研究者

下浦 享 (SHIMOURA SUSUMU)

東京大学・大学院理学系研究科・教授

研究者番号 : 10170995