

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年06月04日現在

機関番号：12601  
 研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23740174  
 研究課題名（和文）逆運動学質量欠損法による鉄近傍不安定核のガモフテラー遷移強度分布研究  
 研究課題名（英文）Gamow-Teller Strength Distribution in Iron-group Exotic Nuclei via Missing Mass Spectroscopy in Inverse Kinematics  
 研究代表者  
 大田 晋輔 (Shinsuke OTA)  
 東京大学・大学院理学系研究科・助教  
 研究者番号：60548840

研究成果の概要（和文）：鉄近傍不安定核のガモフテラー遷移強度を逆運動学質量欠損法を用いた測定による決定を目指し、検出器兼標的として動作するアクティブターゲットとして重水素ガスを用いた時間投影型位置検出器を開発し、 $^{56}\text{Fe}$  ビームを用いたテスト実験および  $^{14}\text{O}$  不安定核ビームを用いたパイロット実験を行なった。

研究成果の概要（英文）：Aiming at the measurement of the Gamow-Teller strength distribution in the Iron-group nuclei, we have developed an active target, which acts as a tracking detector and a reaction target, consisting of gaseous time projection chamber using deuterium gas. We performed a test experiment with  $^{56}\text{Fe}$  beam and a pilot experiment with  $^{14}\text{O}$  exotic beam.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,700,000	1,110,000	4,810,000

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：原子核(実験)

## 1. 研究開始当初の背景

超新星爆発は元素合成かが爆発的に進行する場と考えられており、元素合成過程により鉄近傍元素からウランにわたる重い元素が非常に短期間で合成されると考えられている。この超新星爆発までの寿命や爆発のエネルギーを決めるとされているプロセスが鉄近傍元素による電子捕獲過程である。そのため電子捕獲過程の起こる確率を直接的に測定することが重要であり早期に測定する必要がある。星の内部は高温であるためいわゆる電子捕獲しきい値以上の電子捕獲が重要となる。一方で、しきい値以上の電子捕獲確率を測定するためには、原子核反応を用いる必要があり、 $\beta^+$ 型荷電交換反応によってガモフテラー遷移強度を測定することによって可能となる。

## 2. 研究の目的

電子捕獲確率をしきい値以上で測定するために、不安定核における  $\beta^+$ 型荷電交換反応 ( $d, 2p$ ) を実現するための検出器としてアクティブターゲットの開発を行なう。また十分な収量を得るため大強度ビームが必要であり、その飛跡構成を行なうための位置検出器としてマイクロホドスコープを開発する。それらの性能を測定するためのテスト実験を行なったのち、鉄近傍不安定核におけるガモフテラー遷移強度を測定することを目的とする。

## 3. 研究の方法

## (1) アクティブターゲットの開発

不安定核において  $\beta^+$ 型荷電交換反応を実現するために、逆運動学における質量欠損法を適用可能な ( $d, 2p$ ) 反応を用いる。ガモフテラー遷移強度を導出するためには、0度散乱近傍での測定を行なう必要があるため、通常

の固体標的では必要な分解能を到達することが困難である。一方で密度の薄いガスを用いた場合、標的個数を多くするためには大きな容量を準備する必要があり、検出器を配置することが困難になる。アクティブターゲットは標的と検出器の役割を同時に供えるもので、これらの困難を同時に解決可能な装置である。アクティブターゲットでは検出器の原理として時間投影型位置検出器を選択し、標的かつ検出器ガスとし重水素ガスを用い、電子増幅器として高速応答が期待される GEM を用いた。アクティブターゲット内で起こった反応により放出される反跳粒子を同じくアクティブターゲット内で測定する。重水素ガス中の GEM の応答については十分にデータが得られていないため、まず基礎性能についてデータを取得する。同時に十分な分解能と検出効率を得るために読み出しパッドの分割方法を検討し、構造を最適化する。これらの結果にもとづき全体の構成を決定し、基礎性能について下記のテスト実験により測定を行なう。

#### (2) マイクロホドスコープの開発

大強度不安定核ビームの飛跡を高速に取りこぼすことなく測定するための 1mm 角のプラスチックシンチレータを用いたホドスコープを開発する。読み出しにプリアンプディスクリミネータと時刻およびパルス幅を読み出すことができる TDC を用いることによって、高速に時間およびエネルギー損失の情報を取得できるようにし、大強度不安定核ビーム照射下でも検出効率の高い検出器とする。

#### (3) テスト実験およびパイロット実験の遂行

$^{56}\text{Fe}$  ビームを重水素ガスアクティブターゲットに照射し、基礎性能を測定するテスト実験を行なった。また比較的軽い不安定核に対して原子核反応を逆運動学により測定するパイロット実験を行なう。

### 4. 研究成果

#### (1) 重水素中での GEM の応答

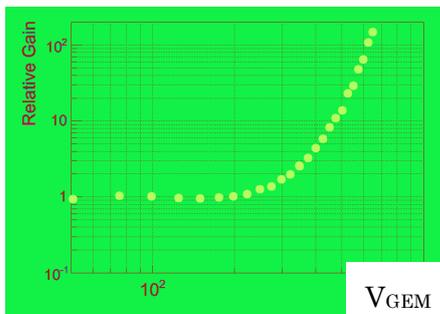


図 1: 重水素ガス中の GEM の増幅度

アクティブターゲットの電子増幅装置として使用する GEM の基礎性能の測定を行なった。重水素中での GEM の基礎性能の測定はこれまで行なわれてきておらず、貴重なデータとなっている。増幅度について GEM 中の電場 ( $E_{\text{GEM}}$ ) だけでなく、電子が発生し GEM まで移動する領域、GEM 間の領域、および GEM と読み出しパッドの領域についてその依存性の測定を行なった。またガス圧にも大きく依存することが分かっているため、1 気圧および 0.2-0.5 気圧と圧力を変化させながらデータを取得した。その際、1 気圧では 100  $\mu\text{m}$  厚の GEM を使用し、0.2-0.5 気圧では 400  $\mu\text{m}$  の GEM を使用した。図 1 に 1 気圧重水素中での GEM の電圧依存性の一例を示す。横軸は 100  $\mu\text{m}$  厚の GEM に印加した電位であり、縦軸はフラットな部分を 1 と仮定した場合の相対的な増幅度である。フラットな部分は実際には 1 よりも小さいことが分かっている。この他上記の各電場について依存性を測定し最適な電圧設定についてデータベースを得ることができた。

一方で新たな課題も得た。これまでの知見として得られているタウンゼント係数から予想される増幅度から大幅に異なる結果となっていることが分かり、この原因究明は基礎性能の理解として重要な問題であり今後も研究を進める。

#### (2) アクティブターゲットの改良および性能評価



図 2: 改良されたアクティブターゲット

アクティブターゲットの改良では反応点付近での位置決定精度を向上させるため、読み出し基盤におけるパッドサイズを小さくする改良を行なった。写真は改良後のアクティブターゲットである。放射線医学総合研究所 HIMAC において  $^{14}\text{O}$  ビームを重水素アクティブターゲットに入射

し、電離された電子を電場によって移動させ GEM によって増幅した後、読み出しパッドで電荷を収集する。収集された電荷をプリアンプにて積分し、FlashADC によって波形データとして記録した。読み出しパッド平面における粒子の通過位置は各パッド上の電荷の比から電荷分割の手法により導出する。パッド平面と垂直な位置は、発生した電荷の移動速度が一定であることからパッドへの到着時間から導出することができる。実際に 1 イベントについての読み出しパッドでのヒットを図 3 に示す。

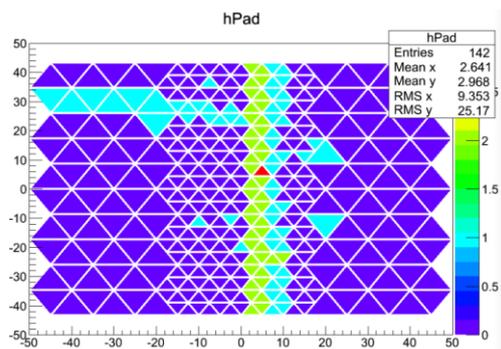


図 3: 読み出しパッドの形状とイベント

読み出しパッドは一辺が 10cm の正方形の中に配置された大小合わせて 400 の正三角形型の電極によって構成されている。ビームが通過する中央付近にはより詳細な情報を得るために一辺 5mm の電極を、外側にはひとつの電極あたりの電荷を増やすため一辺 10mm の電極をそれぞれ配置している。ビームは紙面と平行に下から上へと通過している。図 3 では色の変化により粒子が通過したか否かが示してあり、明るい水色や緑の位置に粒子が通過したことを示している。ビーム粒子は中央部分を下から上へと通過していることが分かり、その領域から左側へビームとは異なる方向へ粒子が飛行した粒子があったことが分かる。これが反応により放出された粒子に対応するものである。質量欠損法による測定的第一步である反跳粒子測定が可能となったことが示された。

### (3) マイクロホドスコープの開発

大強度不安定核ビームの利用を可能にするため、1mm の分解能を持った高速読み出し可能な検出器としてマイクロホドスコープの開発を行なった。

1mm 角のプラスチックシンチレータを一面あたり 30 本ならべて、水平および垂直方向の二面組み合わせることにより、二次元での位置読み出しを可能にした。読み出しに高速に時刻および波高に依存したパルス幅を出力するプリアンプディスクリミネータと時刻

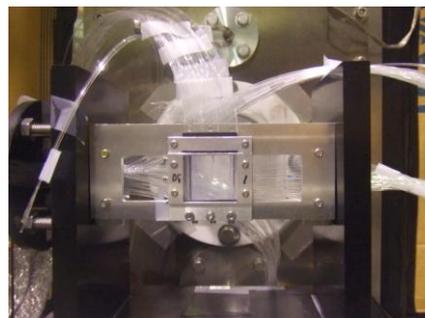


図 4: マイクロホドスコープ

およびパルス幅を読み出し可能な TDC を組み合わせることで使用することにより、信号雑音比を向上させることが可能になり、高効率で位置を決定することができた。図 4 はマイクロホドスコープの実物の写真であり、中央部分が検出器の領域になる。図 5 はマイクロホドスコープを使用して取得したビームの分布である。一辺 30mm の領域にうちこまれたビームの分布を 1mm の精度で決定することができ

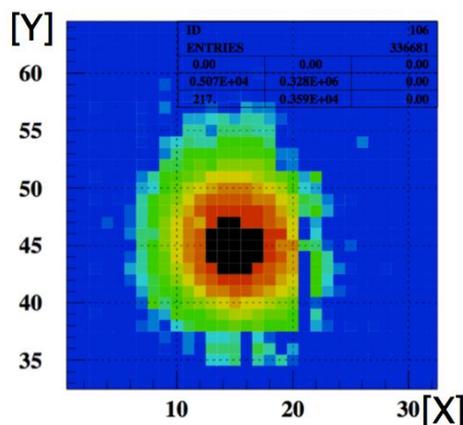


図 5: マイクロホドスコープによるビームのイメージ

ており、期待された分解能で位置が決定できている。

(4)  $^{56}\text{Fe}$  ビームを用いた荷電交換反応の測定  
放射線医学総合研究所 HIMAC において核子あたり 250 MeV の  $^{56}\text{Fe}$  ビームを重水素アクティブターゲットに照射し、荷電交換反応を逆運動学により測定した。データ整理を続けているところである。データ整理の後、投稿論文として纏める。さらに鉄近傍不安定核におけるガモフテラー遷移強度の測定を進めていく。

## 5. 主な発表論文

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[学会発表] (計 6 件)

- (1) 時枝紘史、大田晋輔ほか” 重水素ガスを用いた GEM の応答”, 日本物理学会第 67 回年次大会、2013 年 3 月 27 日、関西学院大学
- (2) 菊池陽介、大田晋輔ほか” 大強度不安定核ビーム実験のための 1mm 角プラスチックシンチレータを用いたホドスコープの開発”, 日本物理学会第 67 回年次大会、2013 年 3 月 27 日、関西学院大学
- (3) 大田晋輔ほか、” 重水素ガスアクティブ標的の性能評価”, 日本物理学会第 68 回年次大会、2013 年 3 月 26 日～3 月 29 日、広島大学
- (4) 李清秀、大田晋輔ほか、” 低圧重水素中における厚い GEM の基礎特性”, 日本物理学会第 68 回年次大会、2013 年 3 月 26 日～3 月 29 日、広島大学
- (5) Y. Sekiguchi, H. Tokieda, S. Ota et al., ” Performance of GEM with Deuterium Gas and GEM with Glass Insulator”, IEEE 2012 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference, Oct. 29–Nov. 03, 2012, Disneyland Hotel, Anaheim, California, U. S. A
- (6) 李清秀、大田晋輔ほか、” アクティブターゲットにおける高エネルギー反跳粒子の測定”, 日本物理学会秋季大会、2012 年 9 月 10 日～9 月 14 日、京都産業大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.cns.s.u-tokyo.ac.jp/~ota/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大田 晋輔 (Shinsuke OTA)

東京大学・大学院理学系研究科・助教

研究者番号：60548840