

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17623

研究課題名(和文) 磁気双極子モーメントを通じた陽子ハロー構造の研究

研究課題名(英文) Study of proton-rich halo nuclei via magnetic moment

研究代表者

長江 大輔 (Nagae, Daisuke)

国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速器研究センター・協力研究員

研究者番号：60455285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は陽子ハロー構造が示唆されているリン同位体の基底準位磁気双極子モーメントの符号を β -NMR法を応用して系統的に決定することで陽子ハロー構造の有無や核構造にせまることである。符号決定に必要な回転磁場発生装置の整備、検出器の整備は進めた。また ^{30}P の生成量、純度の測定を行い、十分な収量、純度であることが分かった。実験に必要な偏極陽子ビームの供給が遅れた為にリン同位体の基底準位磁気双極子モーメントの符号測定を実施することは叶わなかったが、偏極陽子ビームの開発も行い、供給に目途がついた。これによって将来実施するための準備がほぼ完了した。

研究成果の概要(英文)：Purpose of this research is a measurement of sign and value of magnetic moments for proton-rich P to study the halo structure. The sign and value are planned measure by means of beta-ray detected nuclear magnetic resonance method with rotating magnetic field (beta-NMR) method. In order to determine the sign, we have been developed a rotating magnetic field system. Also we measure the production rate and purity for ^{30}P by using proton beam at a TANDEM ACCELERATOR COMPLEX Research Facility Center for Science and Technology, University of Tsukuba. The obtained yield and purity is enough for using in beta-NMR method. We developed a polarized proton beam for producing spin-polarized proton-rich P isotopes.

研究分野：原子核実験

キーワード：磁気双極子モーメント

1. 研究開始当初の背景

不安定核の研究が進む中で核を構成している核子の内、一つないし二つが芯の周囲にぼんやりと量のように広がって分布している核構造が発見され、このような構造をハロー構造と呼んでいる。ハロー構造をしている場合にはハローを担う核子の影響により核全体の磁気モーメントはハロー構造をしていないと考えた場合の核全体の磁気双極子モーメントとの間にずれが生じる。その為、磁気双極子モーメントの測定はハロー構造の有無を検証するのに最適なプローブといえる。また磁気双極子モーメントは核の配位に非常に敏感な物理量であることから、ハロー構造を担う核子がどの単一粒子軌道を占めるのかを決定する決定的な手段となり得る。その符号は基底状態のパリティに依存する。さらに一歩踏み込み、磁気双極子モーメントが陽子と中性子ならびに軌道角運動と核子スピンの4種の変数を含む物理量であることを考慮すると核スピンと磁気双極子モーメント、鏡映核の磁気双極子モーメントが分かればモデル依存なしに陽子と中性子それぞれの軌道角運動量期待値とスピン期待値を分けて導出でき、核構造をより詳細に理解することが可能となる。

不安定核の磁気双極子モーメントは β -ray-detected nuclear-magnetic resonance method (β -NMR 法)を適用することで測定可能である。 β -NMR 法を適用するに必要な核スピン偏極した不安定核は偏極陽子ビームを標的に照射し偏極移行を伴う核反応により生成できる。符号を決定するには回転磁場を作用させればよく、プロトタイプの回転磁場発生装置は開発済みである。筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門タンDEM加速器施設にはラムシフト型の偏極イオン源があり、偏極陽子ビームが利用できる。

2. 研究の目的

基底準位の磁気双極子モーメント測定を行い、発見数の少ない陽子ハローの探索と陽子ハローに至る核構造の変化を追うなど核構造の系統的研究を行う。本研究では ^{30}P から陽子ハロー構造が示唆されている ^{28}P までの核構造の変化を磁気双極子モーメントを通じて研究する事。 ^{28}P は観測された磁気双極子モーメントの値と殻模型計算の結果との比較からバレンス陽子が $s_{1/2}$ 軌道に位置することが示唆され、陽子ハローが出

現していると考えられている。このハロー構造が出現しているか否かは軌道角運動量期待値を知ることにより決定出来ると考えられる。また鏡映核の磁気双極子モーメントも用いて、モデルに依存しない形で軌道角運動量期待値及びスピン期待値を導出し、 ^{30}P から ^{28}P までの核構造変化を追い、P同位体での陽子ハロー出現の機構を解明する。具体的には回転磁場による β -NMR法を用いて、 $^{28,30}\text{P}$ の磁気双極子モーメントの絶対値及び符号の測定。それぞれの鏡映核の内、磁気双極子モーメントの符号が決まっていない ^{28}Al の磁気双極子モーメント符号測定も行う。

3. 研究の方法

磁気双極子モーメントの符号は回転磁場による β -NMR法によって測定する。 β -NMR法は核スピンが偏極した原子核において β 崩壊時に放出される β 線がスピンの方向に対して非対称な角度分布を持つことを利用した核磁気共鳴法(NMR)である。原子核に静磁場を作用させると、磁気量子数に応じてエネルギー準位が分離する。このエネルギー差とスピンの歳差運動の回転方向に応じた回転磁場を印加することにより核スピンの向きが変化する。この変化を β 線検出により検知する。磁気双極子モーメントは核スピンの向きの変化を印加する交流磁場の周波数の関数として測定し、その変化が最大となったときの周波数値から導出する。この回転磁場の周波数から磁気双極子モーメントの絶対値が求められ、回転方向からその符号が決定できる。回転磁場発生装置は開発済みである。核スピン偏極したP同位体は偏極陽子ビームを標的に照射し偏極移行を伴う核反応により生成する。筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門タンDEM加速器施設のラムシフト型の偏極イオン源からの偏極陽子ビームが利用可能な予定であった。

4. 研究成果

(1) 回転磁場発生装置の整備

回転磁場を発生するには同等の性能を持つ二つのコイルが必要であり、かつ二つのコイルの軸が90度に交差している必要がある。また偏向度が高い回転磁場を発生させる為には各コイルから発生する高周波磁場の振幅が同じであり、かつ位相に90度の差が必要である。コイルが幾何学的に90度で交差するような治具は所有しており、

印加する高周波電流の振幅の調整はアッテネーターでできるよう必要台数を整備した。また位相の調整は高周波発振器に備わっている時間差出力の機能を用いて、任意に位相が調整できる事を確かめた。これにより必要な回転磁場発生装置の整備がほぼ終了した。

(2) ^{30}P の生成方法の探索

目的とする原子核 ^{30}P について Si、 SiO_2 標的を用いた陽子共鳴吸収反応 $^{29}\text{Si}(p, \gamma)^{30}\text{P}$ による生成量、純度の調査を筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門タンデム加速器施設のタンデトロン加速器を使用して行った。用いた標的の厚さは Si が 0.51mm、 SiO_2 が 0.33 mm である。陽子共鳴吸収反応によって生成した共鳴準位からの脱励起 γ 線を二台のゲルマニウム検出器で測定した。陽子ビームのエネルギーは 460 keV と 860 keV の二つである。生成量について得られた結果を図 1 に示す。標的の依存性はなく、どちらの標的を用いても十分な量の ^{30}P の生成ができることが確認された。860 keV のビームエネルギーでの生成量は 460 keV の生成量に比べて約 5 倍多く、実験を行う際には有利であることが分かった。得られた生成量を入射した陽子ビーム量で規格化したものは文献値とほぼ一致した。

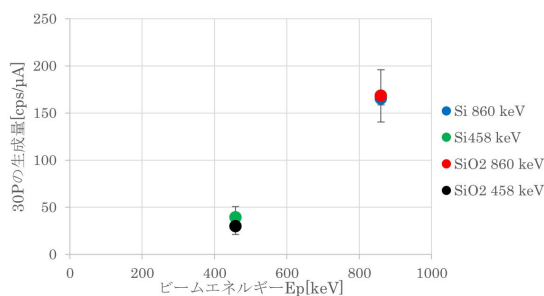


図 1 ^{30}P の生成量

純度について得られた結果を図 2 に示す。 SiO_2 標的を用い得られた純度は、Si 標的を用いて得た純度よりも高く。また 460 keV の陽子ビームを用いた場合はほぼ 100% の純度である。標的によらず 860 keV のビームエネルギーより 460 keV の純度が二倍程度高い結果となった。860 keV の場合でも純度は十分であった。以上より、 SiO_2 標的が ^{30}P の生成について有利であることが示唆された。

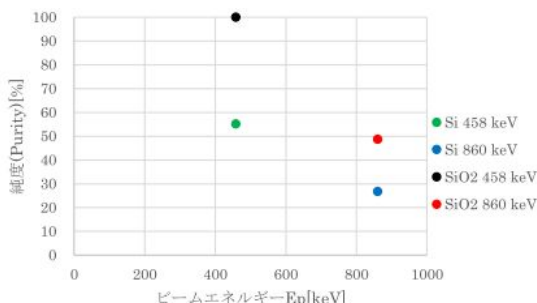


図 2 ^{30}P の純度

(3) 偏極陽子ビームの開発

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門タンデム加速器施設において偏極陽子ビームの供給に遅滞が発生した。本研究では偏極陽子ビームは重要な因子となることから早急な偏極陽子ビーム開発の必要性が生じ、その為にビーム開発を行った。筑波大加速器施設では偏極陽子ビームはラムシフト型偏極イオン源によって生成している。開発の結果、得られた偏極陽子ビームの偏極度はイオン源直後では約 80% であったが、 β -NMR 法の装置がある焦点面では約 45% であり、ビームの輸送過程において減偏極していることを示唆する結果となった。偏極陽子ビームの偏極度は目的とする原子核の偏極度に影響を与える為、減偏極の原因を調査が必要である。

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 1 件)

D. Nagae, Y. Ishibashi, N. Inaba, S. Okada, Y. Abe, and A. Ozawa

“Test of rotating magnetic field system for β -NMR method”

UTTAC Annual Report 2013, 83 (2015) 12-14, 査読なし

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

長江 大輔 (NAGAE DAISUKE)
国立研究開発法人理化学研究所・仁科加速
器研究センター・協力研究員
研究者番号：60455285