

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740141

研究課題名(和文)磁気双極子モーメントの符号決定手法の開発

研究課題名(英文)Development of rotating magnetic field system for the beta-NMR method

研究代表者

長江 大輔 (Nagae, Daisuke)

筑波大学・数理物質系・助教

研究者番号：60455285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：基底準位の磁気双極子モーメントをその符号まで含めて決定できる回転磁場を用いた β -ray-detected nuclear-magnetic resonance method (β -NMR法)の開発を行った。回転磁場の回転方向、偏向度は二つのピックアップコイルにて確認した。装置の完成後、磁気双極子モーメントの絶対値、符号がともに既知である原子核 ^{20}F に対して本手法を適用した。得られた結果より求めた符号は正であり、これは文献値と一致する。これにより回転磁場を用いた β -NMR法による磁気双極子モーメントの符号測定に目途がついた。

研究成果の概要(英文)：A rotating magnetic field system has been developed to determine the sign of magnetic moment by means of the beta-ray-detected nuclear magnetic resonance method. The rotating magnetic field is obtained using two crossed Helmholtz-like coils at right angles. The phase angles of the alternating currents for the two coils are shifted by 90 degree. Thus the resulting magnetic field is circularly polarized. By the adjustment of the phase-angle difference, a right- or left-circularly polarized magnetic field is produced. Productions of right- or left-rotating magnetic fields including a linear component were confirmed using pickup-coils.

A performance of the system was studied with spin-polarized ^{20}F nuclei at the Research Center for Nuclear Physics, Osaka University. The obtained sign of magnetic moment for ^{20}F is positive and in agreement with the reported one.

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：磁気双極子モーメント 符号

1. 研究開始当初の背景

β 安定線から離れた核領域に実験のメスが入られるようになって、従来の核構造論からは予測されない新しい現象が見出されてきたこと、また独立粒子模型の屋台骨である殻構造の現れ方が、中性子/陽子構成比の変化につれて大きく変容しうるところを指摘されている。このような新領域の開拓では、電磁気モーメントの測定が重要な知見を与える。磁気双極子モーメントはバレンス核子がどの単一粒子軌道を占めるかに非常に敏感な観測量であり、核の配位とその純度を決定する為の決定的な手段である。その為、磁気双極子モーメント測定は精力的に行われているものの、その符号決定の困難さから符号については、殻模型から予言される符号を用いて磁気モーメントの議論がなされてきた。一方、閉殻異常が示唆されている中性子数 $N = 20$ 周辺の不安定原子核においては観測された磁気双極子モーメントの符号が実験により異なる、殻模型の予言とは異なる等の報告がなされており、不安定原子核の電磁気モーメント測定では、絶対値のみならず符号の決定が重要になってきている。

2. 研究の目的

基底準位の磁気双極子モーメントをその符号まで含めて決定できる β -ray-detected nuclear-magnetic resonance method (β -NMR 法)の開発を行う。符号を決定するためには、回転磁場が生成できればよい。右回り、あるいは左回りの回転磁場を導入し、どちらの回転磁場で共鳴が起こるかを観測できれば、静磁場の方向から、磁気双極子モーメントの符号を決定できる。本研究では、回転磁場生成のためのシステムを構築し、ピックアップコイルによる回転磁場の検出、陽子の NMR により回転磁場の偏向度測定を行う。装置完成後、磁気双極子モーメントの符号が既知の原子核を用いて実証実験を経て、磁気双極子モーメントの絶対値のみ求まっている原子核に対して本手法を適用して符号を決定し核構造についての知見を得る事。

3. 研究の方法

二つのコイルを用いて回転磁場発生装置を開発した。図1は回転磁場の発生原理を示したものである。二つのコイルを直交するように配置し、位相が90度ずれた正弦波電流をそれぞれに流すとコイルの中心位置に発生する磁場は電流が1サイクル変化したとすると、磁場の大きさが常に一定で、一定回転速度で1回転する回転磁場となる。この原理に基づいて回転磁場発生装置を開発した。この回転磁場発生装置を用いて、磁気双極子モーメントの符号が既知である陽子に対して90度パルス NMR 法を、同じく磁気双極子モーメントの符号が既知である不安定核

^{20}F に対しては β -NMR 法をそれぞれ適用し装置性能評価を行った。また磁気双極子モーメントの絶対値は既知であるものの符号が未知である不安定核 ^{29}P に回転磁場による β -NMR 法を適用し、符号測定を行った。

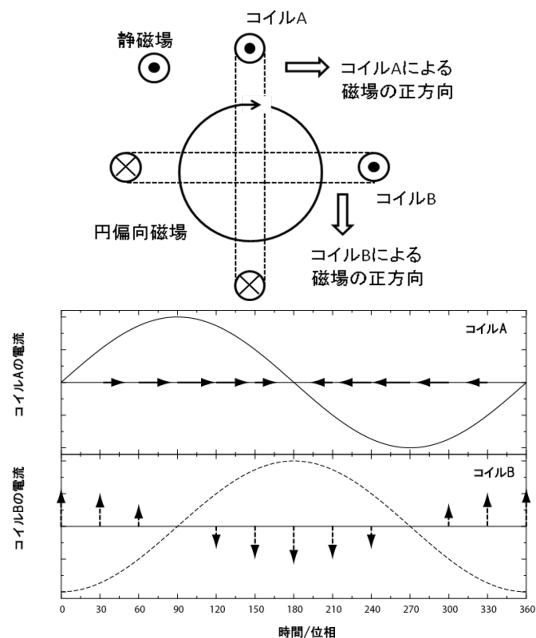


図1 回転磁場発生原理

4. 研究成果

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。その為、コイルが幾何学的に90度で交差するよう治具を製作した。印加する高周波電流の振幅調整はアッテネーターと可変コンデンサーを用いて、位相調整はフェーズシフターとケーブル長で可能となる高周波回路を構築した。回転磁場の検出は二つのピックアップコイルで行い、得られた回転磁場の右回転、左回転磁場はともに90%以上の偏向度であった。原理実証の為、90度パルス NMR により陽子の磁気モーメントの符号測定を行った。右回転、左回転磁場を作用させた場合の NMR 信号の大きさには顕著な差が見られ、信号強度の大きかった場合の回転方向と印加している静磁場の方向から得られた陽子の磁気双極子モーメントの符号はプラスであり、文献値と一致した。続いて磁気双極子モーメントの値、符号がともに既知である不安定核 ^{20}F を用いて β -NMR 法での実証実験を大阪大学核物理センターで行った。図2に実験セットアップ概念図を示す。 ^{20}F は偏極重陽子ビームと CaF_2 試料を用いた $^{19}\text{F}(d,p)^{20}\text{F}$ 反応によって生成した。 β -NMR 法を適用するに必要な核スピン偏極は反応の

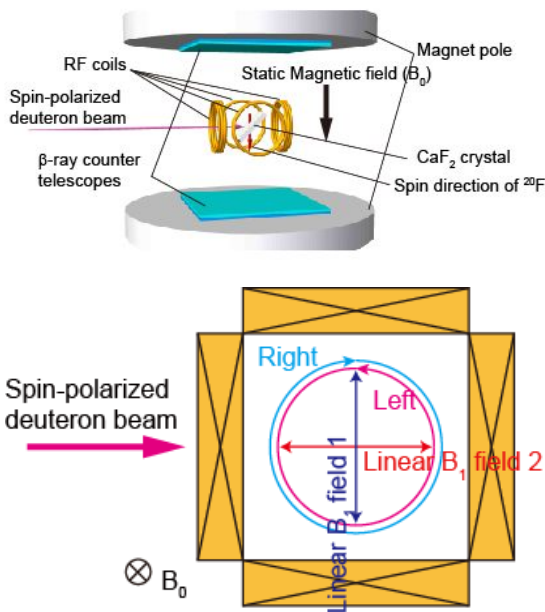


図2 実験セットアップ概念図

直線磁場、回転磁場概念図

過程で重陽子ビームの偏極が²⁰Fに移行させることで生成した。CaF₂試料の上下に設置した検出器によって²⁰Fからのβ線を測定した。スピン偏極した不安定核から放出されるβ線はスピンの方向に対して角度分布をもつ。この性質を利用し磁気モーメントを測定する手法がβ-NMR法である。スピンは印加している静磁場によってその偏極が保持され、かつ歳差運動を行う。その為、静磁場の方向(実験では上下方向)に設置した検出器ではスピンの方向により計数率が異なる。高周波磁場(直線磁場及び回転磁場)の印加によってNMRが起きればスピンの向きが反転し、検出器での計数率は変化する。“高周波磁場印加前の上下のカウント比”と“高周波磁場印加後の上下のカウント比”を計測し、これらの比を導出する。NMRにスピン反転が起きればこの比は1から逸脱する。その逸脱の大きさから²⁰Fの非対称パラメータ $A_{\beta}P$ とスピン偏極度 P の積 $A_{\beta}P$ が得られる。NMRが起きなければこの比は1のみであり得られる $A_{\beta}P$ は0となる。直線磁場(liner RF field1, 2)は右回転、左回転の回転磁場の足し合わせと考えることができるので必ずNMRが起こる。回転磁場を作用させた場合、スピンの歳差運動と同じ方向に回転する回転磁場ではNMRが起こり $A_{\beta}P$ が得られるが、反対方向の回転磁場を作用させてもNMRは起こらず $A_{\beta}P$ は0となる。²⁰Fに対して直線磁場、回転磁場を作用させた場合の結果を図3に示す。二種類の直線磁場を作用させた場合に得られている $A_{\beta}P$ は同程度であり、左回転の回転磁場を作用させた場合にも同程度の $A_{\beta}P$ が得られた。一方、右回転の回転磁場を作用させた場合に得られた $A_{\beta}P$ は著しく小さいものとなった。以上の結果と印加している静磁場の方向か

ら導かれる磁気モーメントの符号は正となる。この結果は報告されている符号と一致した。以上より、回転磁場によるβ-NMR法によって磁気モーメントの符号を測定できることが示された。さらに磁気モーメントの絶対値は既知であるが符号は未知の²⁹Pに本手法を適用した。解析中ではあるが磁気モーメントの符号“正”を示唆する結果となった。

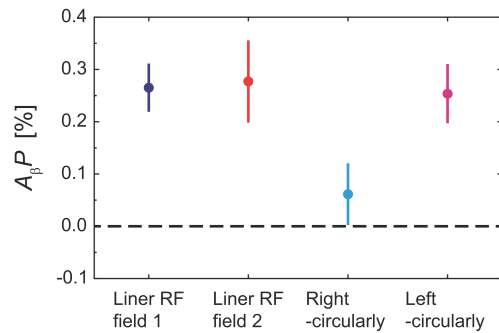


図3 ²⁰Fの結果

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)

Development of rotating magnetic field system for the β-NMR method, D. Nagae, T. Niwa, Y. Ishibashi, Y. Abe, S. Fukuoka, R. Nishikiori, S. Okada, Y. Saito, N. Inaba, A. Ozawa, Y. Aoki, *Hyp. Int.* **220** (2013) 65-69 査読有り
DOI: 10.1007/s10751-012-0721-5

〔学会発表〕(計 1件)

Development of rotating magnetic field system for the β-NMR method D. Nagae, T. Niwa, Y. Ishibashi, Y. Abe, S. Fukuoka, R. Nishikiori, S. Okada, Y. Saito, N. Inaba, A. Ozawa, Y. Aoki
The 4th Joint Meeting of the International Symposium on Hyperfine Interactions and the International Symposium on Nuclear Quadrupole Interactions (HFI/NQI 2012), (Beijing, China, 10 Sep. - 14 Sep., 2012)

〔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)

筑波大学・数理物質系・助教

研究者番号：60455285