

理化学研究所、複数の周波数成分を含む信号の周波数と振幅を制御して不安定核の四重極モーメント測定を世界で初めて実現



■ 概要

課題	核磁気共鳴用の信号源として、複数の周波数成分を持ちながら、周波数変調と振幅制御を伴う複雑な信号が必要になった。
ソリューション	パソコンで演算した長大な信号波形を任意波形ゼネレータに取り込み、さらにシーケンス機能を組み合わせることで信号を生成。世界で初めてこの手法により、不安定核の四重極モーメントを測定した。
利点	四重極モーメントの計測技術が確立されたことで、不安定核の物理・化学現象における微視過程研究が加速された。

● 物質の微視過程を究明

独立行政法人 理化学研究所の旭 応用原子核物理研究室では、加速器を使って様々な不安定核を人工的に作り出したうえで、電磁モーメントと呼ばれるそれぞれの原子核に固有の物理量を測定し、原子核内部の微視過程の研究を行っています。

原子核物理学では天然に存在するほとんどの物質の原子核を「安定核」と呼んでいます。安定核は、ほぼ同数の陽子と中性子から成り、時間が経過しても別な原子核に変わってしまうことはありません。これに対し、ベータ線などの放射線を出して崩壊し、すぐにほかの種類の原子核に変わってしまうものは「不安定核」と言います。不安定核は、「放射性同位体元素(ラジオアイソト

ープ:RI)」とも呼ばれています。

不安定核は人工的に作り出すことができますが、寿命が短く文字通り不安定なため、その物理的なメカニズムは未解明な部分が多く残されています。理論を裏付けるための実験と測定についても手法が確立されていないものがあります。

●核磁気共鳴(NMR)を利用して原子核の構造を探る
同研究室では、核磁気共鳴(NMR)という現象を応用して、不安定核の電気四重極モーメントを測定する手法を研究してきました。電気四重極モーメントは、原子核の電氣的な性質を表します。その測定から原子核内の主に陽子の量子的状態を解明することができます。測定では、まず、スピン偏極させた不安定核を、静磁場の中に置かれた物質内に埋め込みます。そこに、RFコイルを用いて静磁場と垂直な方向に振動磁場を与えます。このとき、振動磁場の周波数を徐々に変えながら、不安定核から放出されるベータ線を検出器でモニターすると、共鳴周波数の所で検出器の計数率が変化するのが観測されます。通常のNMR測定では、共鳴周波数はひとつだけですが、電気四重極モーメントの測定では、共鳴周波数が複数に分離する特徴があります。問題は、分離したそれぞれの周波数で共鳴を検出する場合、検出器に表れる変化が非常に小さくなってしまふ点でした。そこで考えられたのが、複数の周波数を同時に与えて十分な共鳴を検出する手法です。

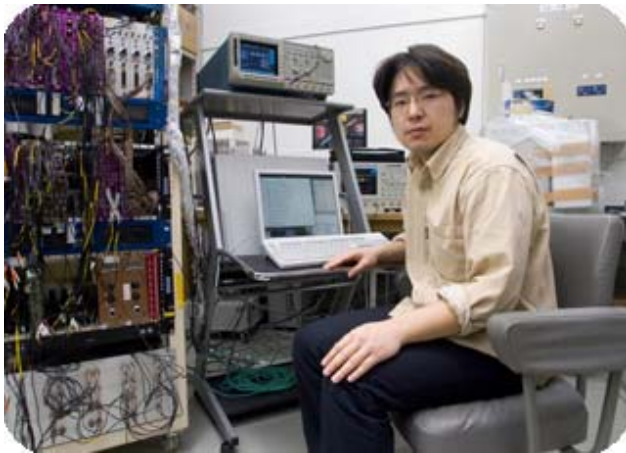
●測定に適した信号源が無い
しかしながら、それを実現するためには、振動磁場にこれまでに無い複雑な信号が必要でした。まず、共鳴周波数の分離に対応して、共鳴周波数成分をもつ複数のRF波形を生成します。その際、各RF波形の周波数を適切な速さでスイ



理化学研究所
中央研究所
旭応用原子核物理研究室
基礎科学特別研究員
亀田大輔 様

ープ(周波数変調)する必要があります。加えてRF波形の振幅も変化させなければなりません。そして、複数の共鳴周波数を同時に与えるために、各RF波形を合成した波形を生成します。

したがって、信号源には複数の周波数成分を持った信号を生成したうえで周波数変調と振幅変調を実行できるものが必要となりました。ちなみに、生成する周波数成分の数は核スピンの大きさによって異なります。例えば同研究室が対象としているスピン3の原子核に対しては6個必要になります。周波数は凡そ 10MHz の帯域が必要となり、同研究室の場合には 7MHz±20%です。ところが、こうした条件を満足する信号源が見つかりません。



基礎科学特別研究員の亀田大輔様によれば、上記のような複雑なRF波形の制御は通常のファンクションジェネレータでは困難で、任意波形ゼネレータを使用することになりますが「テクトロニクス以外のゼネレータではメモリ長や分解能などが不足することが判明しました」とのこと。そこで選択されたのがテクトロニクスの AWG615 型任意波形ゼネレータです。AWG615 型は 2.7GS/s の高速サンプル性能を有し、7MHz±20%の信号発生には十分な分解能があります。そのうえ 32M ポイントのレコード長があるので、周波数変調と振幅変調を同時に行う長大な波形全体を丸ごと書き込んで1波形として実行できます。

●不安定核の電気四重極モーメント測定に成功

同研究室では、必要な波形をパソコン上で算出し、それを AWG615 型に取り込んで実行するスタイルを採っています。実際の測定では様々な周波数成分の組み合

わせが必要になるため、パソコン内に蓄えた波形ライブラリから順次読み込みます。また、AWG615 型のシーケンス機能を使って測定を何度も繰り返した後にジャンプトリガで元に戻すなど、同器の持つ機能をフルに活用して

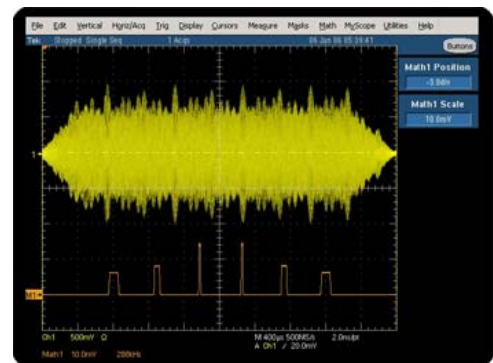


います。そうした結果、具体的な成果が得られる時がやってきました。AWG615 型を導入して基礎実験を始めてからほぼ一年、重イオン加速器を含む設備に組み込まれて約半年、本格的な測定を開始して二ヶ月余りで、実際に世界で初めてアルミの不安定核で電気四重極モーメントを測定することができたのです。

亀田様は「もし AWG615 型が無かったら、適用する原子核を大幅に制限するといった事態が予想され、目的とする測定は実現しなかったでしょう」と語っています。測定法が確立されたことで今後は様々な不安定核について測定が進むものと期待されています。

AWG615 型を使っての感想を伺うと「シーケンス機能が柔軟で色々なパターンが出せるのが便利です。実験本番では GPIB による自動測定をしています。開発段階では AWG615 型にロードした波形を画面上ですぐ確認できるのが役に立ちました」とのこと。

テクトロニクスの任意波形ゼネレータが原子核物理学の発展に貢献できたのはうれしいことです。



AWG615型を使って生成したRFパルスのモニタ波形
上側が RF パルス波形、下側はそのフーリエスペクトル