

First direct mass measurement of superheavy nuclide via MRTOF mass spectrograph equipped with an α -TOF detector

庭瀬, 暁隆

<https://hdl.handle.net/2324/4474932>

出版情報 : 九州大学, 2020, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏名	庭瀬 暁 隆			
論文名	First direct mass measurement of superheavy nuclide via MRTOF mass spectrograph equipped with an α -TOF detector (MRTOF と α -TOF 検出器を用いた超重核の直接質量測定)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	森田 浩介
	副 査	九州大学	准教授	東城 順治
	副 査	九州大学理学研究院附属超重元素センター	特定プロジェクト准教授	長江 大輔
	副 査	高エネルギー加速器研究機構	教授	和田 道治

論文審査の結果の要旨

原子核は陽子と中性子が核力で束縛された有限量子多体系である。原子番号の大きい原子核では陽子数の増大にともないクーロン斥力が増し、核子あたりの結合エネルギーが低下する。その為に α 崩壊や核分裂に対してエネルギー的に不安定となり存在できなくなる。原子核の存在限界ならびに安定性の究明が原子核物理での重要課題となっている。この存在限界・安定性を理解する上で重要な物理量の一つに質量がある。質量とエネルギーの等価性により質量は原子核の持つ全エネルギーと見做すことができる。ゆえに質量は核の存在や安定性を決定する有用な観測量となる。また質量は核種固有の値であるため、精密な測定からその原子番号と質量数を一意に決定することができ、未知の原子核の直接同定のための新しい道具として期待される。

これまでに質量が直接測定された最も重い元素は原子番号 103 番の Lr であり、原子番号 104 番を超えたいわゆる超重核の直接質量測定には未だかつて成功していない。超重核の質量測定を困難にしているのは、その小さな生成反応断面積に起因して生成量が極めての少ないという点にある。その為、超重核生成時に同時に生成されてしまう分子イオンや散乱粒子等の背景事象から測定対象の原子核を弁別するに困難があった。申請者は α -TOF と呼ばれる検出器を開発し、この困難を克服して超重核の直接質量測定に世界で初めて成功した。

α -TOF 検出器は、従来の飛行時間検出器に Si 検出器を組み込むことにより、質量の導出に必要な超重核の飛行時間信号の取得とそれに続く α 崩壊事象の相関取得を可能としている。これによって、1 日に数事象以下の極めて稀な事象においても、崩壊事象に標識付けられた確度の高い精密質量測定が実現できる。

申請者は超重核の質量測定に先立ち、 α 線源と ^{224}Ra の系列核種放射線源を用いて、 α -TOF 検出器の性能評価を行った。5.48 MeV の α 線に対して 141.1(9) keV のエネルギー分解能と 250.6(68) ps の時間分解能を実現し、超重核の質量測定を実施するに必要な性能を満たしている事を確認した。加えて、イオンの到達時刻と崩壊までの時間差から半減期が導出可能であることも実証した。さらに ^{51}V ビームと ^{159}Tb 標的を用いた実験において、高背景事象という環境の中で融合反応によって生成される ^{207}Ra の飛行時間と α 崩壊の相関測定に成功し、背景事象からの対象原子核の弁別を実証した。

申請者は α -TOF 検出器の、飛行時間と α 崩壊特性の相関測定ができるという強みに着目し、 α -TOF

検出器と多重反射型飛行時間測定式質量分光器(MRTOF)による核分光研究への応用も行った。実証実験として、上記 ^{51}V ビームと ^{159}Tb 標的の反応によって生成される $^{206,207}\text{Ra}$ の質量と α 崩壊事象の相関測定を行っている。この実験により $^{206,207}\text{gRa}$ の質量超過をそれぞれ $ME = 3540(54)$ keV, $3538(15)$ keV と、 $^{207\text{m}}\text{Ra}$ の励起エネルギーを $E_{\text{ex}} = 552(42)$ keV と直接決定した。さらに $^{207\text{m}}\text{Ra}$ について測定した飛行時間信号の総数と崩壊特性から α 崩壊分岐比を決定し、励起エネルギーおよび近傍核と比較した α 崩壊幅の系統性から、励起状態のスピンを $J^{\pi} = 13/2^{+}$ と決定した。

研究の最終段階として、申請者は α -TOF を搭載した MRTOF によって超重元素同位体、 ^{257}Db の質量測定を実施した。 ^{51}V ビームと ^{208}Pb 標的を用いた反応によって生成された 11 個の $^{257}\text{Db}^{3+}$ の飛行時間信号とそれに相関した α 崩壊事象を取得した。 α 崩壊によって標識付けられた確度の高い 11 個の飛行時間信号から、 ^{257}Db の質量を 9.7×10^{-7} の相対精度で決定し、質量超過 $ME = 100\,063(231)$ keV を得た。また申請者は、実験で得られた ^{257}Db の質量に加えて既知の Q_{α} 値を用いて 107 番元素 ^{261}Bh の質量を間接的に決定した。得られた結果を、幾つかの異なった手法による質量モデルの計算値と比較し巨視的-微視的モデルによる計算が実験値を支持する事を示した。さらに、実験で得た 11 事象において、一つずつの事象から導出される質量が、原子番号の違う同重体の質量とは明確に異なることを示した。この結果は、超重核の精密質量測定による原子核の原子番号と質量数の同定には、確度の高い 1 事象で可能ということが実験的に明らかになったことを意味している。

申請者は α -TOF 検出器を開発し、MRTOF と組み合わせる事により、精密質量と α 崩壊特性の相関計測という新たな測定手法を開発した。この手法により、これまで測定困難であった超重元素同位体の直接質量測定に世界で初めて成功した。この手法は、超重核のような極限領域における原子核構造の理解に、大きく貢献すると期待できる。

以上の結果は、原子核物理学の分野において価値ある業績と認められる。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。