



Title	分散場を用いた高分解能質量分析器による ^{40}Ca - ^{40}Ar 質量差の測定
Author(s)	福本, 貞義
Citation	大阪大学, 1967, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/29455
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍) 福本貞義
 学位の種類 理学博士
 学位記番号 第1305号
 学位授与の日付 昭和42年12月21日
 学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当
 学位論文名 分散場を用いた高分解能質量分析器による⁴⁰Ca-⁴⁰Ar質量差の測定
 論文審査委員 (主査) 教授 松田久
 (副査) 教授 若槻哲雄 教授 緒方惟一 教授 杉本健三
 教授 斎藤晴男

論文内容の要旨

磁場の強さが荷電粒子の円軌道の曲率中心からの距離に逆比例する分散場は運動量に対する分散のみを有し、一様磁場のような集束作用をもたない。従ってこのような分散場を用いれば比較的小型で高分解能の質量分析器を作ることができる。一般に高分解能質量分析器は方向集束とエネルギー集束とを併せ持つ二重集束でなければならず、そのためには電場と磁場とが必要なので、本装置はトロイダル電場と分散磁場および一様磁場から成り立っている。トロイダル電場は軌道半径30cm、偏向角118.7°、分散磁場は22cmと198.1°、一様磁場は120cmと30°である。

主スリットから出たイオンはトロイダル電場でエネルギー分析を受けると同時に平行になり、分散磁場により分散を受け、一様磁場で集束されると同時に更に僅かに分散を受け検出用写真乾板上に結像する。光学系との類似で言えば本装置はレンズ-プリズム-レンズからなる分光器に相当し、プリズムに相当するのが分散磁場でトロイダル電場と一様磁場はレンズに対応する。通常の質量分析器に用いられている一様磁場はプリズムの分散作用とレンズの集束作用とを併せ持つため、分散を増加させるためには必然的に装置を大型化せざるを得ないが、分散場型質量分析器では分散場の偏向角を大きくすることによって分散が大巾に増すので装置をやや大型にするだけで分散および分解能を数倍に増すことができる。

設計に当っては結像性を良くするため二次の収差の係数を小さくするよう考慮してトロイダル電場の曲率の変化率を決定し、また電場の入口と分散磁場の出入口に曲率を持たせた。端縁場を制御するために磁場に対しては出入口に Herzog iron shield をつけ電場に対しては出入口に Herzog end plate をつけた。

イオン軌道全長6.5mの本装置は比較的小型ではあるが³⁹K熱イオンによる試験段階で分解能約1,200,000を記録し、原子質量の精密測定を行ない得ることが明らかとなつたので検出装置に15段二

次電子倍増管をとりつけて到達イオンを1個ずつ検出し得るようにしたほか、ピークマッチング法によって原子質量の測定ができるよう電子回路を付加した。それらは加速電圧とトロイダル電極電圧を連動して切り換えるリレー回路と一様磁場を出たイオンを掃引するスイープ回路から成り立っている。またイオン源もPIG型およびNier型を試作した。

$C_3H_8-CO_2$ のピークマッチング法による測定結果は電圧測定の精度が不足したので誤差が大きく $72,774.5 \pm 10 \mu u$ となって1964年 atomic mass table から計算した値 $72,771.5 \pm 0.86 \mu u$ と誤差の範囲で一致する。測定に当っては毎回エネルギー集束と方向集束が達成されていなければならないが、本装置は分散磁場と一様磁場をもつてこの組合せによって途中のイオン軌道を僅かに変化させてエネルギー集束を行なわせることができる。これとほとんど独立に方向集束がトロイダル電極の上下に付加した補助電極電位によって制御できるので、従来の装置に比べて二重集束の調整が大変容易である。

^{40}Ca と ^{40}Ar は共に存在比の大きい原子であるが、両者の質量差が約 200 keV と非常に小さいので従来の質量分析器は分解能が不足して直接測定することができなかつた。本装置はすでに試験段階で高い分解能が得られているので、この質量差の直接測定をピークマッチング法によって行ない、26回の測定の平均値として $194.35 \pm 0.45 \mu u$ を得た。この時の分解能は半波高値で $600,000 \sim 700,000$ ドットオツシロスコープのプラウン管上で ^{40}Ca イオンと ^{40}Ar イオンのピークが一致したかどうかを肉眼で観測して判定する際にピーク巾の20分の1程度の誤差がはいる可能性があるのでこの点を考慮すると今回の測定値は $194.4 \pm 3.5 \mu u$ となる。この値は1964年 atomic mass table からの計算値 $205.4 \pm 3.8 \mu u$ に比較して約 $10 \mu u$ 小さいが計算値に対応するエネルギー分析電圧にした時には明らかにピークは一致しないので、計算値はやや過大であると推定される。

論文の審査結果の要旨

原子質量は基本的な物理量で質量分析器で測定される他に、原子核変換の反応エネルギーからも算出される。Mattauch, Wapstra らは、それまでに得られたデーターを集めて原子質量の値を計算し、マス・テーブルを発表したが、それに採用された質量分析法による測定値は、主としてミネソタ・グループによるものと、ブルックヘーブン・グループによるもので、その両者の測定値は必ずしもよい一致をしているとはいえない状態で、核反応の測定値に比べて信頼度の低い場合もある。このような事情にあるため、質量分析法による測定値を再検討することは非常に有意義であると考えられ、現在米国とカナダで大型質量分析器による測定が開始されている。

福本君は、原子質量の精密測定を行なう目的で、 r^{-1} 磁場を利用した新しい原理による高分散、高分解能の質量分析器を建設した。この装置はトロイダル電場（軌道半径 30 cm）， r^{-1} 磁場（半径 22 cm），一様磁場（半径 120cm）を組み合わせたもので、イオン軌道の全長は 5.7m であり大きくはないが、質量分散は 1 % の質量差に対し約 4.8cm という大きい値をもつものである。福本君は、この装置を組立て、精密な焦点の調整を行ない、装置の安定度を改良し、振動やハム・マグネットック・フ

ィールドの影響を緩和する方法を工夫して、120万という大きい分解能を実験的に得ることに成功した。これは、現在まで得られた世界最高の分解能である。

また質量の精密測定を行なうには、エネルギー収束が完全に行なわれている必要があるが、これを確かめる方法も確立した。

さらに福本君は、この装置を用いて Ca^{40} と Ar^{40} の質量差をピーク・マッティング法により直接測定した。この質量差は約 200 keV しかなく、従来の質量分析器では分解能の不足のために、直接測定することができず C_3H_4^+ イオンと比較して質量差が算出されていた。1964年マス・テーブルによるとこの質量差は $204.7 \pm 3.6 \mu\text{u}$ であるが、福本君の得た結果は $196.3 \pm 3.5 \mu\text{u}$ で約 $10 \mu\text{u}$ 小さくなっている。このことからマス・テーブルの値はなお検討する必要があるように思われる。

以上の福本君の仕事は、質量分析器の改良、およびそれによる原子質量精密測定法に大きい進歩をもたらすもので、理学博士の学位論文として十分価値あるものと認める。