

論文内容の要旨

論文題目

Time-of-flight Neutral Mass and Velocity Spectrometer for Upper Atmospheric Research

(飛行時間法を用いた上層大気測定用中性ガス質量分析器の開発)

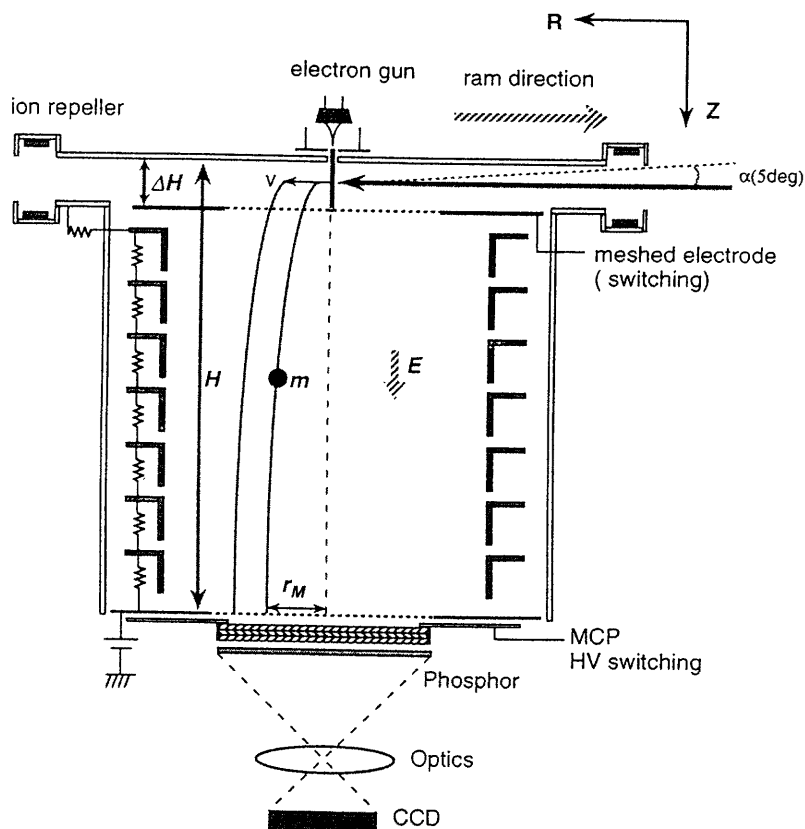
氏名 藤川暢子

熱圏、電離圏と呼ばれる超高層大気では電離したガスと電離していない中性ガスが混在しお互いに弱い相互作用を通し影響しあっている。電離した成分はさらに上層のプラズマ大気の影響を強く受けているが、中性ガスの方は個々の粒子はそれぞれの過去の履歴を引きずりながら独自の運動をしていると考えられる。原子や分子間の衝突頻度が小さいため流体としての近似が適用できず理論的にも取り扱いが難しい領域である。観測的にも電離気体では普通に行われてきた速度分布関数の観測が実現していない。

我々は飛行時間測定と位置検出を併用して、中性ガスを構成する原子、分子の質量数、組成毎の速度分布関数を求める方法を考案した。本研究で実現化するにあたって問題であった中性粒子のイオン化と加速の方法、位置検出の方法を確立し、これを実験室で実証することによって飛翔体搭載への準備段階に到達した。

測定原理

入射中性粒子を電子ビームによりパルス的に電離し、その後イオン源下のメッシュ電極に負電位をかけ、粒子を入射方向に対して垂直に電場加速する。検出器までの粒子の飛行時間 (Time-of-flight) から粒子の質量が求められ、検出位置の分布から粒子の入射方向を含む二次元の速度分布を知ることができる。入射方向と垂直に加速することで元々の速度を保ったまま質量分析が出来ることが特徴である。検出は MCP (Micro channel plate) と CCD で行う。イオンの加速開始の後、ある時間だけ MCP の高圧電源をオンにするゲート操作で測定する質量の粒子を分別し、MCP の背面の蛍光スクリーンを介して CCD で位置検出を行う。CCD は電荷を蓄積することが出来るため、同時に複数の粒子の位置を検出でき、また読み出しを一括して行うことが出来るので、通常の 2 次元位置検出アノードに比べて検出効率が上げられ有利である。また生成イオンの加速開始を行うメッシュ電極の電位切り替えのタイミングを遅らせることによって、ある時間内 (放置時間) にイオンを入射速度方向に自由に進ませることによって、もともとの速度分布を位置分布として見るときに拡大することが出来る。



室内実験による開発研究

1. 飛行時間測定試験

真空チェンバー中に Ar, He, H₂ などの既知のガスを導入して飛行時間測定による質量分析の特性を調べた。これより、Ar ガスとチェンバー内の残留ガスである N₂, O₂, H₂O, N, O など存在比がよく一致しておりほぼ正しいマススペクトルが得られていることがわかる。実験結果で現れている質量数 15 のピークはイオン源からの脱ガスによるもので CH³⁺ であると考えられる。また Ar⁺ と Ar²⁺, N²⁺, O²⁺ などの計数率の比から電離断面積の比をいくつかの電子ビームエネルギーのもとで求め、過去の電離断面積のデータと比較した。以上より飛行時間測定による質量分析が可能であることが示された。

2. 位置検出試験

真空チェンバーに He ガスと N₂ ガスを導入し、MCP 高電圧のゲート操作による質量分別と、CCD による検出位置分布の取得を行った。図 3 に放置時間を変化させたときの He⁺ と N₂⁺ の検出位置分布を示す。

飛行時間試験の結果と MCP 高電圧のスイッチングによるゲートの時間、そのときの位置検出の分布強度を比較して、ゲート操作によって特定の飛行時間（質量）の粒子の検出位置分布が観測できることを確認した。放置時間と質量による検出位置の分布範囲の違いが、粒子の質量によって違う熱的な速度分布によって説明できることから、位置検出によって中性粒子の速度分布の観測を実現できることが確認された。

まとめ

中性大気粒子の質量分析と同時に速度を観測するというアイデアを実現するための測定方式を確立し、実験的にこの方式の可能性を実証した。今回の実験ではイオン源での脱ガス、アノードのチャージアップが原因と思われる電子ビームの広がりが生じていた。このため位置分布の定量的な解釈が困難になっている。今後はチャージアップの防止と、電子電流の確保のためイオン源の改良を行い、飛翔体に搭載可能な形に開発していく。