

イオントラップ用低温バッファガス冷却システムの開発 Development of a Cryogenic Buffer-Gas System for an Ion Trap

伊藤清一

ITO Kiyokazu

広大院先進

AdSE, Hiroshima Univ.

非中性プラズマは狭義には単一種の荷電粒子のみで構成される多体系であるが、中性プラズマと同様にクーロン相互作用を介して様々な集団運動を発現する。非中性プラズマは散逸が少なく閉じ込め時間が長い、再現性が非常に高い、装置が小型・シンプルで比較的安価に構成できる、など研究室レベルでの基礎実験に適した多くの特徴を持っている。

荷電粒子ビーム（ビーム）も通常は単一種の荷電粒子で構成される多体系である。重心系で観測した加速器ビームの運動と荷電粒子トラップに捕捉した非中性プラズマの運動は物理的にはほぼ等価である [1]。従って、非中性プラズマを用いると、巨大な加速器を使用せずにビームの挙動を実験的に研究することが可能である。広島大学では加速器ビーム模擬システム“S-POD”を開発し、次世代の高性能加速器において問題となる空間電荷効果がビームの挙動に与える影響に関して実験的に調査している [2]。

非中性プラズマトラップに線形ポルトラップを採用した S-POD では、最大で 1×10^7 個の Ar^+ イオンを捕捉することができる。この時の空間電荷効果の強さは大概の加速器ビームよりも強いが、最先端の大強度線形加速器や次世代計画で想定されている加速器よりは弱い。これらのビームの模擬実験を行うには今よりも位相空間密度が高い、即ち、イオン数が多い又は温度の低いイオンプラズマを生成する必要がある。ただし、現状のシステムではイオン数を劇的に増加させることは困難である。一方、その温度は典型的には数千 K 程度であるので、冷却による高密度化が期待できる。大雑把な評価によれば S-POD に 1×10^7 個の Ar^+ イオンを捕捉した場合、その温度を室温程度まで下げることができれば上述のビームを遥かに凌駕する強さの空間電荷効果が得られる。

イオンプラズマの冷却法の一つに低温の軽いガス（バッファガス）との衝突でイオンを冷却するバッファガス冷却法がある。これは比較的簡便な手法であり、かつ Ar^+ を含む多くのイオン種に適用が可能である。

これまでに、S-POD に室温のヘリウムガスを導入すると Ar^+ プラズマの密度が増加することを実験で確認している [3]。

バッファガス冷却の到達温度はおおよそバッファガスの温度程度である。そこで、 Ar^+ プラズマを強力に冷却するべく、クライオスタットで冷却したヘリウムガスをバッファガスとして導入するとともに、イオントラップ自体も冷却できるシステムを開発中である。その模式図を Fig. 1 に示す。システムの概要と開発の進捗について報告する。本研究は JSPS 科研費 JP21H03737 の助成を受けたものです。

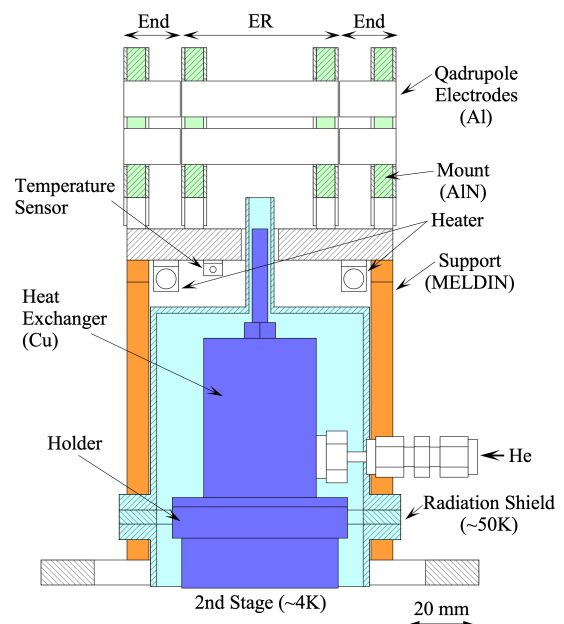


Fig. 1: 低温バッファガス導入装置付きイオントラップの模式図

References

- [1] H. Okamoto, Y. Wada, R. Takai, Nucl. Instrum. Methods A **485**, 244 (2002).
- [2] <https://home.hiroshima-u.ac.jp/beamphys/index.html>
- [3] K. Ito, K. Nakayama, *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **47**, 8017 (2008).