



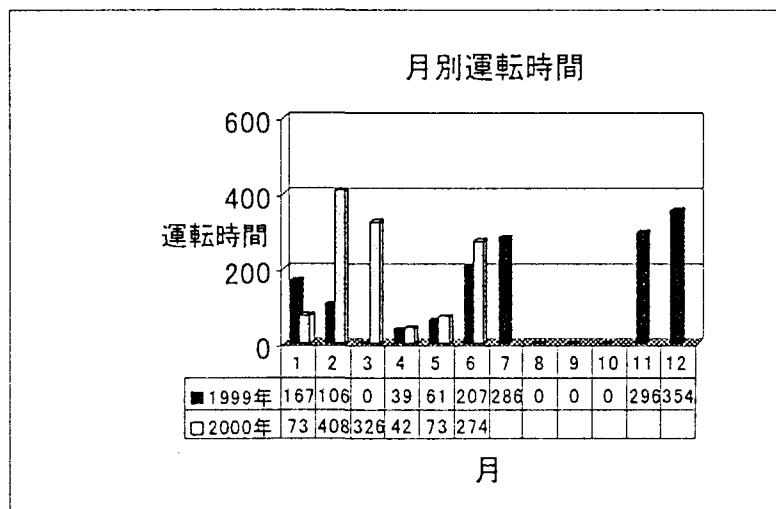
2-9 九大加速器の現状

九大理 御手洗志郎、前田豊和、古賀義博、池田伸夫、
森川恒安、相良建至、杉光強、郷農靖之、森信俊平、中島孝夫、

昨年の8-10月にかけて、タンデム加速器ターミナル部へのガス・ストリッパの取り付けが行われた。このストリッパはまたカーボン・ストリッパと共存している。ガス循環用に磁気浮上型のモレキュラー・ポンプが使用された。ビームに対する加速・減速による強収束作用を用いた低エネルギーC-ビームのタンデムでの透過率がこのガス・ストリッパの使用により著しく改善された。

天体核物理における 4He (^{12}C , ^{16}O) 反応断面積の測定を大きな目的とする反跳核質量分析器に対する整備がビームを用いて進められ、バックブランド成分の解明・低減が進んでいる。大量のCビームを引き出すためのイオン源としてプラズマ・スパッタリング型の強力なイオン源が導入され、近々ビームをタンデム加速器へ入射の予定になっている。

下図に去年から本年6月までの月別タンデム運転状況を示すが、ガス・ストリッパの取り付け、その後の真空トラブルのために長期間の休止が生じている。



ここ1年間におけるビーム粒子としては主としてp、d、 ^7Li 、 ^{12}C 及び ^{16}O が加速された。軽イオンを中心に多くの原子核実験がおこなわれたが、同時に中性子測定、極低エネルギーでの 4He (^{12}C 、 ^{16}O) 断面積の測定、AMS システムの開発等の新たな試みに、多くのマシン・タイムが費やされた。

加速・減速による低エネルギーC-ビームの透過率向上のためにタンデム改造が行われた際に、コラムに取り付けられた抵抗体は除去され、加速管の抵抗体のみに変更された。それにより、ターミナル部とアース間の抵抗値は約2倍になった。荷電負荷の減少により荷電搬送チェーンの速度を秒速10m強から5-6 m/sec へ減速する事が可能になり、チェーン負荷が大幅に減った。これにより、チェーン運転の安定化、タンデム電圧の安定、チェーンの長寿命化が得られている。

Inverse PIXE 法を用いた ^{36}Cl の AMS 測定、ターミナル電圧の GVM 制御の開発が進められ、また飛行時間測定法を主とした新 AMS システムの開発が進められている。これらについては別に本研究会で報告された。

次ページ以下にガス・ストリッパと反跳核質量分析器についての項目をまとめて報告する。

大口径ガスストリッパーの装着・試運転

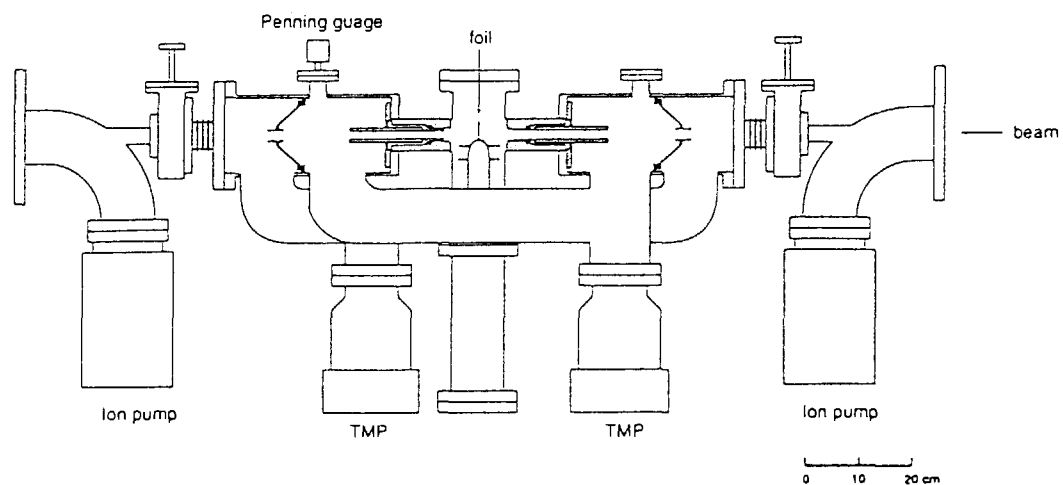
我々は天体核反応実験のために大強度の低エネルギー (3-10 MeV) 炭素ビームを加速する計画を持っている。既に九大独自の加速減速強集束方式を開発し、ビームアクセプタンスを約10倍増加した事は前回報告した。またこの加速減速強集束方式は通常加速方式に比べて同じターミナル電圧を発生するのに17.5倍のチェン電流を要する。このことはビーム負荷に耐えて電圧を安定化できる、との利点になる。残された問題点は、炭素薄膜ストリッパーの破損、ビームのエネルギー拡がり、角度拡がりであった。実際にターミナル1MVで加速された炭素ビームは±1%程度のエネルギー拡がりを持ち、実験に使用できるようなビーム量は1/10程度と見積もられた。

そこで大口径ガスストリッパーを独自開発してタンデムに装着した。ビームの通過を妨げないように口径12mm、有効長さ50cmと大口径短縮型にした。これまでの炭素薄膜ストリッパーの有効径が10mmであったから、ビームの通過率はこれまでと変わらない筈である。なおガスストリッパー中央部に従来の薄膜ストリッパーを配置し、ガス/薄膜共用型とした(下図参照)。

問題は如何に効率よくガスを閉じ込めるかである。大口径短縮型とはガス閉じ込めにとって悪い条件である。その上に中央部に薄膜ストリッパーを置いたのでパイプの有効長が減ってガス閉じ込め効率がさらに減ることになった。この悪条件に対抗するために、吹き込み方式と2台のターボ分子ポンプ(TMP)を用いる2段階差動排気方式を採用した(下図参照)。

吹き込み方式は粘性流のガスターゲットでは成功した方式である。しかしガスストリッパーではガスは粘性流-分子流の遷移領域にあり、吹き込み方式は残念ながら実測の結果5-10%程度の効果しかないことが判明した。2段階差動排気方式で中央部の 2×10^{-2} Torrから出口の 1.5×10^{-5} Torrまで真空度を向上させ、更にイオンポンプで排気してタンデム加速管につなげた。今は窒素ガスを用いている。大部分のガスは循環使用し、イオンポンプに漏れ出た僅かの分を補給する。これで約 $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ のガスストリッパーができた。ビームのエネルギー拡がりは十分に小さくなり加速ビームの80-90%が実使用可能となった。またガスを薄くしてビーム電荷数を減らせることも天体核反応実験にとっては大きなメリットである。

目下の問題点は放電ショックによるTMP(完全磁気浮上型)電源の故障である。放電シールド強化、保護回路強化等を施しているが未だ最終解決には至っていない。TMPの技術的相談に親身に応じて頂いた三菱重工業(株)広島の方々に感謝します。



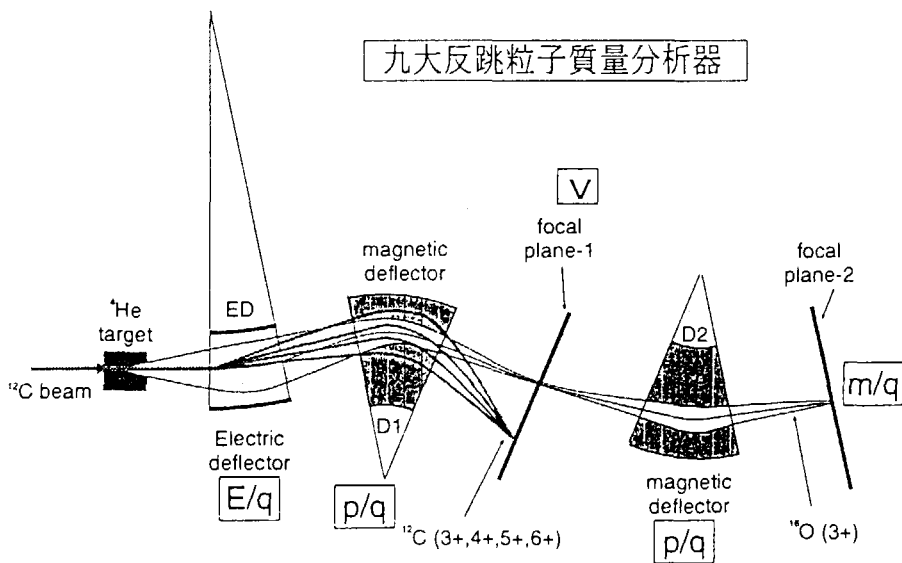
反跳核質量分離器の background 除去能力のテスト

— $^{12}\text{C}+^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O}+\gamma$ 反応率精密測定に向けて

本施設において、天体熱核反応率の精密測定を目指すプロジェクトを進めている。本プロジェクトは、逆運動学を利用し、 0° 近傍に集中して放出される反応生成核を一次ビームと分離収集することにより高効率での測定を実現させ、一般に極めて小さい天体熱核反応断面積を高精度で決定しようとするものである。天体核反応 $^{12}\text{C}+^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O}+\gamma$ の核反応率測定を第一の目標として開発研究を進めている。

逆運動学を用いた実験手法を確立するための最も重要な開発要素の1つとして、一次ビーム及びそれに起因する background に関し優れた除去能力を持つ粒子測定系の開発が挙げられる。我々は逆運動学反応に対し世界最高のビーム分離能力を目標とした反跳核質量分離器の設計・製作を行い、全系としての完成に至った。本質量分離器は、偏向電極、2台の偏向電磁石及び集束用多重極電磁石からなる(本頁下図、図中では多重極電磁石を省いた)。その大きな特徴は、2つの集束面を有することにある。反跳粒子はまず第一集束面において速度のみにより分離される。これにより一次ビーム及びそれに起因する background の大半が除去される。さらに最終集束面において質量(正確には質量電荷比)のみにより分離し、特定の質量の粒子を高いSN比で検出する。

1999年より、 $^4\text{He}(^{12}\text{C}, ^{16}\text{O})\gamma$ 反応の精密測定に焦点を定め、一次ビームに起因する background 除去に関するテスト実験を開始した。9.6 MeV $^{12}\text{C}^{3+}$ ビームを用い、標的としては一次ビームの電荷を分散させ実際の測定時に類似した状況をつくるため、炭素薄膜を用いた。質量分離器の最終集束面に一次元位置感応型シリコン半導体検出器 ($45 \times 8 \text{ mm}^2$ in area, $300 \mu\text{m}$ thick) を設置し、質量分離器の運転条件として、7.2 MeV ^{16}O 3価及び5価ビームを収集する条件で検出される background particle のエネルギー、位置情報を得た。



得られた位置 vs. エネルギー 2次元プロットの一例を本頁下に示す。 ^{16}O 3価 (左図)、5価 (右図) いずれの設定の場合も、帯状の background が見られる。これらは偏向電磁石より上流で発生した background 粒子のうち磁場を通り抜ける条件を満たしたもののみが最終集束面まで到達したものと理解できる。その起因としては、一次ビームの質量分離器内でのダクト散乱による成分とビームハロー成分の2つが可能性として挙げられる。これらに対する対処として、まず、一次ビーム除去用バツフルを実際の実験条件に則して設置することにより、大幅な background の低減を実現した。さらに、標的枠による散乱を抑えることによる background 低減も確認した。ビームハローの対処が残された課題である。また、下図両プロットともに、9.6 MeV Cが観測されているが、これは電極・磁場間で荷電変換を起こした結果、電極と磁場の双方を通過する条件を満たした一次ビーム粒子と考えられる。これらはエネルギーの相違から ^{16}O 同定には問題無いが、計数率が大きい大強度ビームを用いる際に支障となる。現在、分析器最下流に垂直方向への偏向電場を設けることにより、さらにエネルギー差による分離を行なうよう改良を進めている。

一連のテスト実験において、7.2 MeV $^{16}\text{O}^{3+}$ がしばしば観測された (左図参照)。blank target run でも同様に観測されることから、タンデム加速器により加速された ^{16}O ビームが観測にかかっていることが明らかとなった。7.2 MeV $^{16}\text{O}^{3+}$ はターミナル部分でのイオン生成に対応し、その後のビーム輸送系においては 9.6 MeV $^{12}\text{C}^{3+}$ ビームと正に $B\rho$ 値が合致するため、C ビームと同軌道上を通る。ただし、使用した炭素ストリッパーが新品では観測されず、ビームをある程度照射した後突如発生する傾向がある。その発生機構は明らかではないが、本測定では、前述のガスストリッパーを利用し $^{12}\text{C}^{2+}$ ビームを加速することによりターミナル部 (もしくは高エネルギー側加速管) で発生する ^{16}O ビームは標的まで到達し得なくなると考えられる。実際ガスストリッパーを使用した加速においては ^{16}O ビームは観測されていない。

まもなく、 ^4He ガスターゲットを質量分離器に接続し、本格的な精密測定を開始する予定である。

