

【基盤研究(S)】

理工系(総合理工)



研究課題名 極低温静電型イオン蓄積リングが拓く極限科学:宇宙化学から放射線生物学までの展開

理化学研究所・東原子分子物理研究室・主任研究員

あずま としゆき
東 俊行

研究課題番号: 26220607 研究者番号: 70212529

研究分野: 量子ビーム科学

キーワード: イオンビーム

【研究の背景・目的】

イオン蓄積リングは、高エネルギー物理や核物理の実験においてイオンビームの強度や品質を向上させるために開発された加速器科学における大型装置である。ところが、磁場を使わずにすべてを静電的に制御することによって、周回蓄積イオンの質量と無関係に同一条件下で運転できる静電型イオン蓄積リングが近年登場した。これにより、イオン蓄積リングでは全く取り扱われたことのなかったはるかに重いイオン、すなわち多原子分子イオン、クラスターイオン、さらには生体分子イオンまでが周回蓄積可能となった。

我々は、装置の大きさを基本的に磁場の場合より遙かに小型化できる利点を活かして、装置全体を極低温(5K)、極高真空(10^{-15} Torr)環境下に設置し、大きさや質量数に制限されない冷却原子分子イオンを長時間周回させることができるテーブルトップサイズの静電型イオン蓄積リングを最近開発した。



図1 極低温静電型イオン蓄積リング内部の電極群

本装置の特徴は、多彩な原子分子イオンを極低温という環境下で、振動回転状態を制御しながら数時間という長い時間スケールで真空中に孤立させて用意できること、10-20keVという一定のエネルギーを保持して周回しているため、リング内で蓄積イオンが衝突や反応を起こした時に生成する粒子を高効率かつ容易に検出できること、さらに分子の個性が明確に現れるエネルギー差が小さい低速衝突ダイナミクスの研究に最適であり、衝突相手の粒子ビームを合流させ相互の速度差を変化させることによりエネルギーの関数としての反応確率すなわちエネルギー微分断面積の測定が可能であることが挙げられる。

本研究では、本装置を基盤としてこれらの特徴を最大限に活用し加速器技術、光技術を原子分子物理

実験に適用することにより、宇宙・化学・生物分野への新しいビーム科学の展開を目指す。

【研究の方法】

周回する対象のイオンを生成するため様々なタイプのイオン源を導入するが、特にエレクトロスプレーイオン源(ESI)によって生成した大型分子イオンは、リングに導入する前に用意する極低温RF型プリオントラップで予め冷却し、かつ個数を増大させた後パルス状に加速してリングに導入する。リング周囲軌道の途中には直線部分を設け、波長可変OPOレーザー及や色素レーザーを駆使した分光や中性粒子ビームとの合流衝突実験を行う。前者では大型分子の準安定状態や脱励起過程を追跡するのみならず、極低温下で振動冷却したイオンの分光を行う。また後者では中性粒子ビームを負イオン源とレーザーによる電子脱離を利用して生成し、宇宙における分子化学進化で重要な役割を果たすイオン・中性衝突反応を観測する。

【期待される成果と意義】

極低温・低エネルギー領域のイオン・中性衝突反応は、宇宙における分子化学進化に関する地上実験として重要であるばかりでなく、低エネルギー領域で反応断面積が大きく増大するという基礎科学的にも興味ある反応であり、その詳細が明らかにされると期待される。本研究によって得られる生体関連の大型分子イオンに対する衝突反応のエネルギー微分断面積は、実験上の困難から今まで殆ど得られていなかったものであり、放射線生物学的にも新しい情報をもたらすと期待される。その他、黒体放射が無視できる環境における孤立多原子分子イオンの脱励起過程を長時間にわたって追跡するなど様々な研究展開が期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- "Cooling dynamics of photo-excited C_6^- and C_6H^- ", G. Ito, T. Furukawa, H. Tanuma, J. Matsumoto, H. Shiromaru, T. Majima, M. Goto, T. Azuma, and K. Hansen, Phys. Rev. Lett. 112, 183001 (2014).
- "Direct observation of internal energy distributions of C_5^- ", M. Goto, A.E.K. Sundén, H. Shiromaru, J. Matsumoto, H. Tanuma, T. Azuma, and K. Hansen, J. Chem. Phys. 139, 054306 (2013).

【研究期間と研究経費】

平成26年度-30年度
147,000千円

【ホームページ等】

<http://www.riken.jp/amo/toshiyuki-azuma@riken.jp>