

水分子のイオン対解離過程により生成するフラグメント負イオン Fragment negative ions produced by ion-pair formation of water molecule

小田切丈^{1,*}, 高村朝陽¹, 鎌田遥¹, 織田瑛子¹, 今村隼¹, 鈴木功^{1,2}

¹上智大理工 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

²KEK-IMSS-PF 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

Takeshi ODAGIRI^{1,*}, Asahi TAKAMURA¹, Haruka KAMATA¹, Akiko ODA¹, Hayato IMAMURA¹
and Isao H. SUZUKI^{1,2}

¹Sophia University, Tokyo 102-8554, Japan

²KEK-IMSS-PF, 1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801, Japan

1 はじめに

負イオンは惑星大気やプラズマ中に無視できない量存在することが知られているが、その生成・崩壊反応については未だよくわかっていない。本研究では、負イオン生成過程の一つとして分子の真空紫外光吸収に伴うイオン対解離過程に着目し、そのダイナミクスを理解する目的で、新たに運動量画像観測装置を開発し、水分子のイオン対解離に伴うフラグメント負イオンの運動量分布測定を試みた。

2 実験

実験装置の模式図を図1に示す。BL20Aにおける3m直入射分光器(NIM)からの真空紫外光を、キャピラリーを介して導入された水分子のガスビームと交差させ、生成したフラグメント負イオンを飛行時間(TOF)型質量分析計により質量分析する。イオン引き込みのための電極系はVelocity Map Imaging(VMI)電極系を構成するため、有効径約80mmのディレイライン型位置敏感検出器に到達した負イオンの位置分布は反応により生成したフラグメント負イオンの初期速度分布を精度よく反映する。検出器面上の位置分布から飛行管軸に垂直な面内における負イオンの初期速度(v_x および v_y)を算出し、TOFスペクトルにおけるピーク時間からのずれにより飛行管軸方向の初速度(v_z)を算出し、負イオンの運動量分布を得た。

実験はPFリングのハイブリッドモード運転における放射光の時間構造を利用した。イオンの到着時刻をスタート、リングの加速高周波を1/312分周した信号をストップとして測定したヒストグラムは、ハイブリッドモード運転におけるバンチフィリングとイオンのTOFを反映した624 ns周期の構造を持つ。観測されるそれぞれのイオンについて、孤立バンチに起因するピーク部分のみを切り出し、上記の(v_x, v_y, v_z)分布を得た。

放射光と水分子の相互作用により大量の光電子が発生し、負イオンの測定のための妨げとなるが、それらはヘルムホルツコイルによる磁場(飛行管軸と

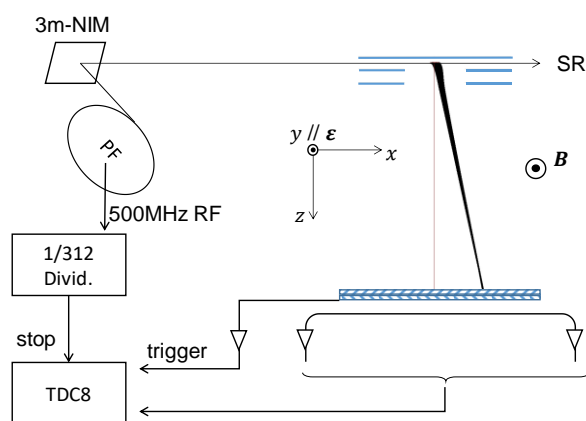


図1 実験装置の模式図

垂直方向; 15~18G程度)を装置全体に印加することにより除去した。

3 結果および考察

図2に位置敏感検出器による負イオンの到達位置分布を示す画像(以降、VMI画像)を、図3にそれと同時に測定されたTOFスペクトル(赤実線)を示す。測定における光子エネルギーは27.115 eVである。図3中、横軸のch番号 6×10^3 ch付近に見られる強いピークは除去しきれなかった電子によるバックグラウンドである。赤実線で示したTOFスペクトルには、それ以外に少なくとも二つのピークが見えている。一方、VMI画像には、中央付近の上下に分かれた強いスポットと、その右側の比較的広がったスポットが観測されている。

図3の青または緑実線によるTOFスペクトルは、VMI画像中の二つの異なるスポットにゲートかけて抽出したTOFスペクトルである。ゲートをかけたTOFスペクトルはいずれもハイブリッドモード運転におけるバンチ構造を反映した形状を示し、つまり、図3中の青、緑実線のTOFスペクトル、および、対応するVMI画像中のスポットがそれぞれ異なるある

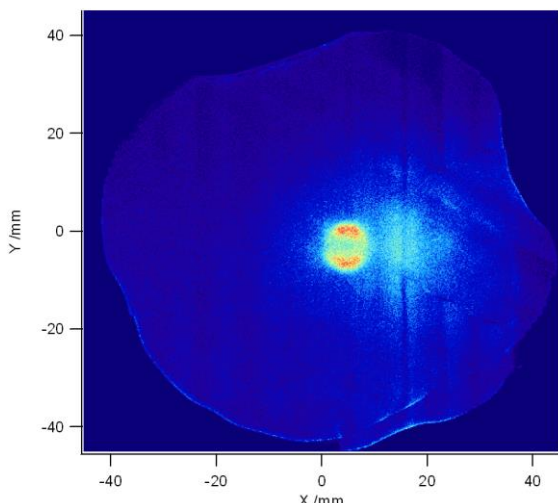


図2 光子エネルギー27.115 eVにおいて測定された負イオンのVMI画像。図の縦軸（Y軸）方向は直線偏光放射光の偏光方向と一致している。

図2のY軸方向は直線偏光放射光の偏光方向を示す。O⁻に対応するスポット形状から、O⁻が偏光方向に放出されていることがわかる。H₂O分子がC_{2v}点群に属することを考慮すると、この異方性から、このエネルギーでのO⁻生成が¹A₁対称性の前駆超励起状態への光励起を経由していると理解される。図2のような明確な異方性はこのイオン対解離が分子回転より十分速く進行し、axial recoilの条件が十分成り立っていることを示している。また、運動量分布からO⁻の運動エネルギー分布を求め、イオン対解離の解離極限と比較することにより、このイオン対解離がO⁻ + H⁺ + Hへの3体解離であると結論付けた。

* odagiri.t@sophia.ac.jp

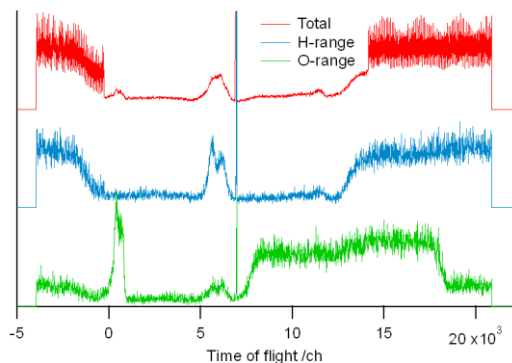


図3 光子エネルギー27.115 eVにおいて測定された負イオンのTOFスペクトル；赤実線、VMI画像全体のTOFスペクトル；緑実線、VMI画像の中央付近にゲートをかけて抽出したTOFスペクトル；青実線、VMI画像中中央やや右の広がったスポットにゲートをかけて抽出したTOFスペクトル。

負イオン種に起因するものであることがわかる。このような測定を様々な光子エネルギーにおいて行い、予想されるイオン対解離の解離極限と比較することで、緑実線のTOFスペクトルおよびVMI画像中の中央付近の上下に分かれた二つのスポットがO⁻によるものであり、青実線のTOFスペクトルおよびVMI画像中の中央やや右側の広がったスポットはH⁻によるものであると同定できる。なお、これら二つの負イオンによるスポットの重心が互いに一致していないのは電子除去のための磁場によるものと考えられる。磁場は図2のY軸方向にかけてあり、図2に垂直なZ軸方向に飛行するイオンはX軸方向にローレンツ力をうけその軌道が曲がる。H⁻はO⁻に比べて軽く、比較的大きくその軌道を変えると理解される。