

## Ne-Kr混合クラスターにおける基底状態イオンからの 低エネルギー電子生成過程

<sup>1</sup>東北大多元研, <sup>2</sup>理研RSC, <sup>3</sup>京大院理, <sup>4</sup>産総研,  
<sup>5</sup>ゲーテ大, <sup>6</sup>IOM, <sup>7</sup>IPP, <sup>8</sup>ハイデルベルク大

○You Daehyun<sup>1,2</sup>, 福澤宏宣<sup>1,2</sup>, 榊原悠太<sup>1,2</sup>, 高梨司<sup>1,2</sup>, 伊藤雄太<sup>1,2</sup>,  
Maliyar Gianluigi M.<sup>1,2</sup>, 本村幸治<sup>1,2</sup>, 永谷清信<sup>2,3</sup>, 西山俊幸<sup>2,3</sup>, 浅和貴<sup>2,3</sup>, 佐藤由比呂<sup>2,3</sup>,  
齋藤則生<sup>2,4</sup>, 大浦正樹<sup>2</sup>, Schöffler Markus<sup>2,5</sup>, Kastirke Gregor<sup>5</sup>, Hergenahn Uwe<sup>6,7</sup>,  
Stumpf Vasili<sup>8</sup>, Gohkberg Kirill<sup>8</sup>, Kuleff Alexander I.<sup>8</sup>, Cederbaum Lorenz S.<sup>8</sup>, 上田潔<sup>1,2</sup>

### Low energy electron productions from ground-state ions in Ne-Kr clusters

○Daehyun You<sup>1,2</sup>, Hironobu Fukuzawa<sup>1,2</sup>, Yuta Sakakibara<sup>1,2</sup>, Tsukasa Takanashi<sup>1,2</sup>,  
Yuta Ito<sup>1,2</sup>, Gianluigi G. Maliyar<sup>1,2</sup>, Koji Motomura<sup>1,2</sup>, Kiyonobu Nagaya<sup>2,3</sup>,  
Toshiyuki Nishiyama<sup>2,3</sup>, Kazuki Asa<sup>2,3</sup>, Yuhiro Sato<sup>2,3</sup>, Norio Saito<sup>2,4</sup>, Masaki Oura<sup>2</sup>,  
Markus Schöffler<sup>2,5</sup>, Gregor Kastirke<sup>5</sup>, Uwe Hergenahn<sup>6,7</sup>, Vasili Stumpf<sup>8</sup>, Kirill Gohkberg<sup>8</sup>,  
Alexander I. Kuleff<sup>8</sup>, Lorenz S. Cederbaum<sup>8</sup>, Kiyoshi Ueda<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials, Tohoku University, Japan*

<sup>2</sup>*RIKEN SPring-8 Center, Japan*

<sup>3</sup>*Department of Physics, Kyoto University, Japan*

<sup>4</sup>*National Metrology Institute of Japan, AIST, Japan*

<sup>5</sup>*Institute for Nuclear Physics, Johann Wolfgang Goethe University Frankfurt, Germany*

<sup>6</sup>*Leibniz Institute of Surface Modification, Germany*

<sup>7</sup>*Max-Planck-Institute for Plasma Physics, Germany*

<sup>8</sup>*Theoretische Chemie, Physikalisch-Chemisches Institut, Universität Heidelberg, Germany*

**【Abstract】** When X-rays irradiate atoms or molecules, an inner-shell electron is ejected, followed by an emission of an Auger electron producing a dication. If other atoms or molecules surround the dication, one of the neighbors may donate an electron to the dication and release energy, which can be transferred to ionize one of the neighbors at the same time. This process is called electron transfer mediated decay (ETMD) [1]. The ETMD was considered as an inefficient decay channel since it could not compete with other decay processes [2]. However, in 2013, Stumpf et al. predicted that the ETMD provides an efficient neutralization pathway for ions produced by Auger decay in NeKrKr trimers, even the ions are in ground state [3]. Here, we show the ETMD of Ne dications produced after Ne 1s photoionization in Ne-Kr mixed clusters.

**【序】** 物質に X 線を照射すると光イオン化により内殻軌道の電子が放出され、引き続きオージェ緩和によりオージェ電子が放出される [4]。その他、多くの低エネルギー電子も放出される。このような低エネルギー電子は生体内で生体分子を壊す原因となり

得るため [5]、X 線照射による低エネルギー電子の生成は生体分子の損傷機構として重要であると考えられる。これまでは低エネルギー電子は光電子やオージェ電子の非弾性散乱により生成されると考えられてきた。しかし近年、他の重要な過程が提案されている。原子間クーロン緩和 (interatomic Coulombic decay; ICD) [6]と電子移動型電子緩和 (electron transfer mediated decay; ETMD) [1]である。ICD と ETMD は励起状態のイオンが近隣の原子や分子をイオン化させることで起こる緩和過程である。最近 Stumpf らにより基底状態イオンにより引き起こされる ETMD 過程が理論的に予想された [3]。基底状態からの ETMD が起こり得るとすれば、低エネルギー電子生成の機構として重要な役割を果たすと考えられる。そこで、本研究では Ne-Kr 混合クラスターを標的として基底状態の Ne<sub>2</sub> 価イオンから起こる ETMD 過程の観測を目的とした。

**【実験方法】** 本実験は SPring-8 のビームライン BL17SU にて行った。光子エネルギーは Ne 1s イオン化しきいエネルギー (約 870 eV) より 8 eV と 18 eV 高い 878 eV と 888 eV に設定した。Kr のイオン化による効果を評価するため、しきいエネルギー以下の 860 eV でも実験を行った。Ne-Kr 混合クラスターは、Ne と Kr を 60:1 の比で混合したガスを、160 K まで冷却した直径 80 μm のノズルから 6 atm の背圧をかけて噴出することにより生成し、超音速ビームとして真空チャンバーに導入した。クラスターへの光照射により放出されるイオンと電子を、イオン-電子運動量多重同時計測法により計測した [7]。

**【結果・考察】** NeKrKr<sub>3</sub> 量体の場合には、Ne 1s 光イオン化に引き続き以下の過程が起こる [3]。



同様に本研究で標的とした Ne-Kr 混合クラスターでも、ETMD 過程が起こると 1 つの Ne 1 価イオンと 2 つの Kr 1 価イオンが生成されると予測される。イオンの飛行時間スペクトルから Ne 1 価イオンと Kr 1 価イオンを特定し、複数のイオン飛行時間の相関から 3 つのイオンが同時に生成されたことが確認できた。さらに 3 つのイオン組と同時計測した電子スペクトルから光電子の他に低エネルギーの ETMD 電子が生成されていることを確認した。光電子収量に対する ETMD 電子収量は 0.7 以上であり、光イオン化が起こると効率よく低エネルギー電子が放出されることが明らかになった。

## 【参考文献】

- [1] J. Zobeley, R. Santra, L. S. Cederbaum, *J. Chem. Phys.* **115**, 5076–5088 (2001).
- [2] K. Sakai *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **106**, 33401 (2011).
- [3] V. Stumpf, P. Kolorenč, K. Gokhberg, L. S. Cederbaum, *Phys. Rev. Lett.* **110**, 258302 (2013).
- [4] W. Bambynek *et al.*, *Rev. Mod. Phys.* **44**, 716 (1972).
- [5] B. Boudaiffa *et al.*, *Science*. **287**, 1658–60 (2000).
- [6] L. S. Cederbaum, J. Zobeley, F. Tarantelli, *Phys. Rev. Lett.* **79**, 4778 (1997).
- [7] R. Dörner *et al.*, *Phys. Rep.* **330**, 95–192 (2000).