

NOおよびCO分子の再散乱電子分光と再散乱電子波束を用いた解析

¹東北大多元研, ²電通大量子科学研究センター, ³モスクワ物理工科大学
伊藤 雄太¹, ○奥西みさき¹, 森下亨², Oleg I. Tolstikhin³, 上田潔¹

Rescattering photoelectron spectroscopy of heterodiatom NO and CO molecules with an analytical returning photoelectron wave packet

Yuta Ito¹, ○Misaki Okunishi¹, Toru Morishita², Oleg I. Tolstikhin³ and Kiyoshi Ueda¹

¹IMRAM, Tohoku University, Japan

²Institute for Advanced Science, The University of Electro-Communications, Japan

³Moscow Institute of Physics and Technology, Russia

【Abstract】 Angle-resolved photoelectron momentum distributions of rescattering electron generated by intense infrared laser pulses were measured for NO and CO molecules. It is shown that the measured distributions along the outermost backward rescattering caustic are well reproduced by calculations based on a newly developed factorization formula with the analytical returning photoelectron wave packet. The good agreement between the experimental and theoretical results confirms the validity of the theory for molecular targets.

【序】 強光子場中での原子・分子のイオン化過程に伴い放出された電子の一部が、光電場の振動に伴い、電子を放出した親イオンへ衝突する電子の再衝突・再散乱過程において、放出される高エネルギー再散乱電子運動量分布には、再衝突時における電子・イオン微分散乱断面積(DCS)に関する情報が含まれている。森下らは、時間依存シュレディンガー方程式の計算により得られた角度分解再散乱電子運動量分布の高エネルギーカットオフ領域の分布から、最大の運動量で再衝突したときの電子・イオン微分散乱断面積を抽出することが可能であることを示した[1]。この方法のキーポイントは、カットオフ領域の電子運動量を p とするとその分布 $S(p)$ が微分散乱断面積 $\sigma(p_r, \theta)$ と波束 $W(p_r)$ の積に近似的に分離出来るところにある。ここで p_r はレーザー電場強度で決まる電子の最大再衝突運動量で、 θ は再衝突時の散乱角である。波束は散乱角に依存しないと仮定すると、この最大運動量領域の電子運動量角度分布が微分散乱断面積の角度依存性と一致する。

この方法が提案されてから希ガス原子や幾つかの分子について実験的な検証が行われ、理論計算で得られた電子・イオン微分散乱断面積と実験的に抽出された断面積の比較が行われた。更に実験的に分子内の原子間距離を決定することも試みられている。一方、最近、断熱近似トンネルイオン化理論に基づくカットオフ領域の電子運動量分布に関する新しい理論が提案され、電子運動量分布の分離公式に現れる再散乱電子波束の計算方法が導かれた[2]。この理論では波束の散乱角依存性も計算される。本研究では、異核二原子分子である NO と CO の再散乱電子運動量分布を測定し、この新しい分離公式と電子・イオン微分散乱断面積の計算結果を用いて、カットオフでの電子運動量分布の実験値と計算値を比較した。同様の解析を従来の手法でも行い、両者を比較し、最も高い高エネルギーのカットオフ近傍では、新しい分離公式を用いた解析がより実験結果を再現していることを見出した[3]。

【実験】 波長 800 nm パルス幅 100fsec のレーザーパルスを用いた増幅器

に入射し、赤外レーザーパルスを生成する。この赤外パルスを超高真空槽内に漏れ出し分子線として導入した試料ガスに集光照射し、イオン化に伴い放出された電子を飛行時間型電子エネルギー分析器で検出した。 $\lambda/2$ 波長板を用い入射光の偏光方向を回転させながら測定することで、電子スペクトルの空間運動量分布を得た。

【結果・考察】 従来の分離公式との違いは次の 2 点にある。(i)電子運動量分布のカットオフ運動量を、従来は一定の衝突エネルギーの弾性散乱を仮定して、運動量空間の円上にあると仮定していたが、実際には円からわずかにずれており、新しい理論では、これを考慮に入れる。図 1 に測定した CO 分子の電子運動量分布と計算に用いたカットオフ電子運動量の位置の関係を示している。白線が従来の円で近似した運動量、赤線が数値計算により得られた正確なカットオフ運動量であり、散乱角が小さくなるにつれて若干ずれていくことが分かる。(ii)もう一点の違いは、波束の散乱角依存性を取り入れているところにある。従来の手法では、波束は散乱角に依存しないと仮定していたので、事実上無視されていたが、これをトンネルイオン化レートから計算することで、この効果を取り入れて、計算と実験結果を比較が出来るようになった。図 2 は CO 分子のカットオフ領域での電子運動量分布の再散乱角依存性の実験値と理論計算の比較である。点線は従来の円近似での計算結果で実線は新しい分離公式を用いた結果である。図に示すように散乱角が小さい領域で新しい方式の方がより実験値を良く再現していることが分かる。

【参考文献】

[1] T. Morishita, A.-T. Le, Z. Chen, and C. D. Lin, Phys. Rev. Lett. **100**, 013903 (2008).
 [2] T. Morishita and O. I. Tolstikhin, Phys. Rev. A **96**, 053416 (2017).
 [3] Y. Ito *et al*, Phys. Rev. A **97**, 053411 (2018).

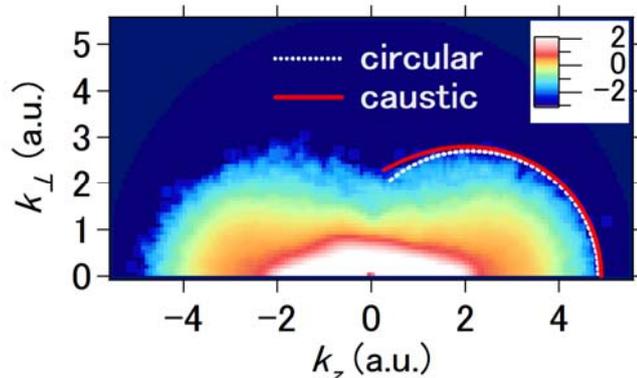


Fig.1 Experimental electron momentum distribution for CO molecules at 1650 nm on a logarithmic scale. The red line shows the outermost caustic determined by the effective peak field intensity 0.06 a.u. and the white dotted line shows the circular approximation to the caustic.

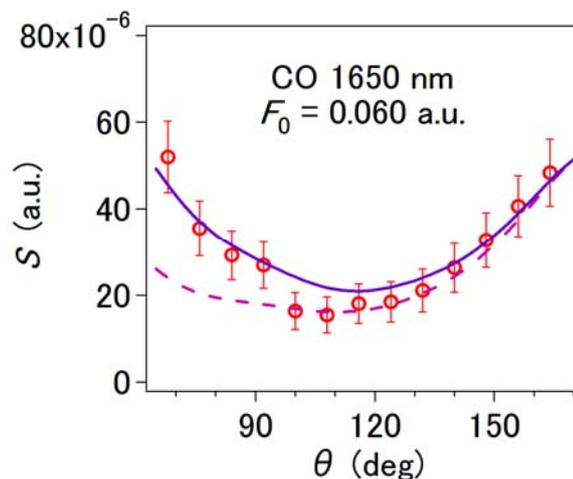


Fig.2 Experimental and theoretical electron momentum distribution for CO molecules at 1650 nm along the outermost caustic as a function of rescattering angle (θ). The blue line is the calculation based on the new factorization formula and the dashed line is that calculated by the circular approximation.