4P013

ベンゼン分子のレーザー誘起再散乱電子スペクトルの測定

(吉林大学・原子分子研¹、東北大・多元研²) Wang ChunCheng¹、○奥西みさき²、 伊藤雄太²、Ding Dajun¹、上田潔²

Laser induced rescattering photoelectron spectroscopy of benzene

(Institute of Atomic and Molecular Physics, Jilin University¹, IMRAM Tohoku

University²) Wang ChunCheng¹, OMisaki Oknunishi², Yuta Ito², Ding Dajun¹,

Kiyoshi Ueda²

[序] 気相中の原子・分子に長波長の高強度超短パルスレーザー光を集光照射するとトンネルイオ ン化により分子の外殻軌道から電子が放出される。放出された電子の一部は振動するレーザー電 場の折り返しに伴いその向きを変え、トンネル電子を放出した親イオンに再衝突をする。再衝突 電子が親イオンと弾性衝突することで再散乱電子が放出される。後方弾性再散乱電子は再衝突後 にレーザー電場により加速され、高いエネルギーを持つ光電子として観測される。電子の再衝突 現象はレーザー電場の1光学サイクル未満で起こる超高速現象であることから、フェムト秒レー ザーを用いた高エネルギー再散乱光電子スペクトルや、再衝突電子の親分子イオンとの再結合過 程によって発生する高次高調波スペクトルの測定から、分子の超高速過程の観測が原理的に可能 となる。

森下らは H 原子と Ar 原子について時間依存シュレディンガー方程式(TDSE)を用いて強光子 場中での角度分解再散乱光電子スペクトルの計算を行った。その結果、最も高い衝突エネルギー でイオンと弾性衝突し後方散乱された電子の微分散乱断面積の抽出が再散乱電子スペクトルの解 析から可能であることを示した[1]。更に Chen らはこの研究をより小さな衝突エネルギーでの後 方再散乱電子に拡張することでより広い衝突エネルギーの範囲で電子の微分弾性散乱断面積が抽 出できることを示した[2]。 我々は、彼らの提案に沿って、希ガス原子や幾つかの簡単な分子(O₂, CO₂, C₂H₄等)で再散乱電子スペクトルの測定を行い、電子・イオン微分散乱断面積を抽出し、そ れらの断面積を散乱計算により得られた断面積と比較し、両者に良い一致が見られることを報告 してきた[3]。また、最近 Blaga らはこの研究をより長波長の赤外領域に拡張することで、N₂およ び O₂ 分子で、より高い衝突エネルギーでの電子・イオン微分散乱断面積を求め、分子間距離を決 定することが可能であることを示した[4]。本研究ではより複雑な分子系への発展への第一歩とし て、長波長の赤外領域のレーザーパルスを用い、ベンゼン分子の高エネルギー再散乱電子スペク トルの測定を行い、電子・イオンの衝突微分散乱断面積の抽出を試みた。

【実験】 波長 800nm パルス幅 100fs 繰り返し周波数 1kHz 出力 1.5mJ/pulse のチタンサファイ アレーザー光を光パラメトリック増幅器で波長変換し、波長 1300-1800 nm の直線偏光フェムト 秒レーザーパルスを得た。このレーザー光パルスを、超高真空槽中に漏れ出し分子線として導入 したベンゼン分子に集光し、分子をイオン化した。放出された光電子を長さ 264mm の飛行時間 型電子エネルギー分析器で検出し、電子のエネルギースペクトルを測定した。 λ/2 波長板を一定 のスピードで繰り返し回転させることで偏光方向を回転し、電子エネルギースペクトルの角度依 存性を精度良く決定した。



図1 波長 1300, 1500, 1650, 1800 nm のフェムト秒レー ザーバルスを用いて測定した再散乱電子スペクトルより 抽出した電子・イオン断線散乱断面積の角度依存性



図 2 衝突運動量 p=2.0 (a.u.) での分子散乱強度(MSI)の
運動量移行量 (s = 2ksin(θ/2)) に対する依存性。ここで
k:電子波の波数 θ:電子の散乱角である。

[結果と考察] 図1にベンゼン分子の角 度分解再散乱電子スペクトルから抽出し た電子・イオン微分弾性散乱断面積の角 度依存性を示す。波長 1300-1800 nm の 範囲で複数のレーザー強度で測定するこ とで衝突運動量が 1.1-2.0 a.u.の範囲で断 面積の角度依存を求めることが出来る。 それぞれの衝突運動量に対して、複数の 実験条件で測定した断面積を示しており、 本手法で求めた断面積が波長やレーザー 強度にほとんど依存しないことがわかる。 また、衝突運動量が p=1.3-1.4 (a.u.)付近 で断面積の角度依存性が急激に変化し、 これ以上の運動量では側方への散乱断面 積が急減し、180°方向の後方散乱が相対 的に強く観測される。最大の衝突運動量 2.0 a.u. (運動エネルギーは 54eV 程度) での微分散乱断面積を同じ衝突エネルギ ーでの構成原子である炭素原子と水素原 子の微分散乱断面積[5]の和で規格化した 分子散乱強度を図2に示す。図のように ほぼフラットな形をしており、分子起因 の干渉はほとんど観測されていない。こ のエネルギーでの電子波のドブロイ波長 は約 1.6Å であり、分子内の原子間距離 (C-C 1.4Å, C-H 1.1Å)より長く、分子構造 に起因する干渉パターンを観測すること が困難であるためと考えられる。従って、 より高い衝突運動量での測定が必要とな る。

[文献] [1] T. Morishita *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **100**, 013903 (2008). [2] Z. Chen, A-T. Le, T. Morishita, and C. D. Lin, *J. Phys. B: At. Mol.*

Opt. Phys. **42**, 061001 (2009). [3] M. Okunishi, *et al*, Phys. Rev. Lett. **100**, 143001 (2008), M. Okunishi *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **106**, 063001 (2011), C. Wang *et al.*, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. **45**, 131001 (2012). [4] C. L. Blaga, et al, Nature, 483, 194 (2012). [5] A. Jablonski, F. Salvat, and C. J. Powell, *NIST Electron Elastic-Scattering Cross-Section Database* - Version 3.2, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (2010).