

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 池谷 大夢

論 文 題 目

Tunnel electron spectroscopy of atoms and molecules in circularly polarized laser fields by electron-ion coincidence momentum imaging

(電子-イオンコインシデンス運動量画像法による円偏光レーザー場原子および分子のトンネル電子分光)

論文審査担当者

主 査 名古屋大学物質科学国際研究センター 教 授
博士(工学) 菱川 明栄
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教 授 理学博士 阿波賀 邦夫
委 員 名古屋大学トランスフォーマティブ生命分子研究所 教 授
博士(工学) 柳井 毅

論文審査の結果の要旨

近年のレーザーパルスの短パルス化および高強度化によって原子・分子内のクーロン電場に匹敵する強いレーザー電場の生成が可能となった。強レーザー場中で誘起される現象は、弱い光の場では見られない特徴的なふるまいを示し、これを利用した新しい超高速分光法の開拓が行われている。特に強レーザー場によって歪められた束縛ポテンシャルを電子がトンネル透過するトンネルイオン化は、イオン化軌道の特徴を反映することが見出されており、化学反応過程における電子ダイナミクスを探る手段として期待されている。トンネルイオン化の主な観測量には、(1) トンネル電子の垂直運動量分布、および (2) トンネルイオン化レートが挙げられる。本申請者は、円偏光レーザー場においてイオンコアへの電子再衝突が抑制され、光電子運動量分布にトンネルイオン化過程の特徴が現れることに着目し、トンネル電子の3次元運動量イメージング計測を行った。

イオン化軌道の違いがトンネル電子運動量分布に与える効果について明らかにするため、申請者は同程度のイオン化ポテンシャル (Ar: 15.8 eV, H₂: 15.4 eV) をもつ Ar (3*p*) および H₂ (1*s*σ_g) を対象とした実験を行った。同じレーザー場強度条件のもとで比較するために混合気体を用い、電子-イオンコインシデンス計測法によって Ar⁺または H₂⁺と同時に検出された光電子の運動量分布をそれぞれ計測した。また位置敏感型検出器の校正を行うことで、精密な運動量計測を実現した。Ar および H₂ とも円偏光面に沿った明瞭なトーラス (ドーナツ) 状の分布を示したが、トーラス主半径およびトーラス断面に現れる垂直運動量分布の幅には明瞭な差が見出された。高強度場近似 (SFA) に基づく理論計算を用いて *p* 軌道および *s* 軌道からイオン化した光電子の運動量分布を計算したところ、実験結果と同程度の差が得られた。これから実験で観測された Ar と H₂ の光電子分布の違いは価電子軌道がもつ特徴の違い、特に軌道角運動量に起因していることが明らかとなった。一方、実験結果は Ar および H₂ とも定量的には理論計算からのわずかなずれを有し、トンネルイオン化理論の発展に向けたベンチマークデータとなりうることを示した。

さらに申請者はトンネルイオン化レートを分子座標系で計測する手法として、補助パルスを用いた分子座標系光電子角度分布 (MFPAD) 計測法の開拓を行った。トンネルイオン化のための円偏光レーザーパルス照射から時間遅延を置いて、紫外光パルスを補助解離パルスとして導入することで、分子の解離反応を促進し、MFPAD 計測の適用範囲を拡大することを目指した。対象分子は円偏光レーザー場中で解離性イオン化が起こりにくい O₂ とした。補助解離パルスを導入することで、O⁺イオンの収量が増加したことから、本手法により O₂ の解離反応を促進できることが示された。観測された総解離運動エネルギー (KER) スペクトルに基づいて、生成した O⁺は HOMO-1 (π_u) からのトンネルイオン化を経由した解離経路に帰属された。これは電子状態 (あるいは分子軌道) を指定して MFPAD 計測が可能であることを示している。対応する MFPAD は分子軸に対して垂直方向に強い分布を示しており、弱電場漸近理論に基づく HOMO-1 のトンネルイオン化レート計算の予想とよく一致した。これは補助解離パルスの導入が、これまで MFPAD 計測が困難であった分子種および電子状態に適用可能であることを示す結果である。

以上、申請者は電子-イオンコインシデンス運動量画像法に基づいて、円偏光強レーザー場中における原子分子のトンネル電子分光計測に関する研究を行った。得られた成果は、トンネルイオン化を利用した原子分子計測への発展につながると同時に、化学反応を支配する電子ダイナミクスの実時間直接観測法の開拓に貢献するものであることから、申請者は博士 (理学) の学位を授与される十分な資格があるものと認められた。