

強レーザー場中での CO₂ 分子の光電子分光

(東北大・多元研)

○板谷亮輔、奥西みさき、嶋田浩三、Prumper Georg、上田潔

【序】強レーザー場中($> 10^{11} \text{ W cm}^{-2}$)で分子を励起すると、多光子イオン化、越閾イオン化および電場イオン化などの過程を経てイオン化が起こる。そこで放出される光電子やイオン化後に生成されるフラグメントを調べることでイオン化や解離の過程についての知見を得ることができる。特に、光電子分光法は原子や分子を対象とした強光子場中でのイオン化過程の研究において有効な実験手法である。しかしながら、従来の研究の大部分ではその対象がほぼ希ガス原子に限られており、分子の詳細な光電子測定の実例は非常に少ないのが現状である。そこで、本研究ではもっとも単純な多原子分子の一つである CO₂ 分子を対象として実験を行った。測定には、フェムト秒レーザー(波長: 800 nm、パルス幅: 100 fs)を用いて、強レーザー場中($\sim 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$)での CO₂ 分子の光電子スペクトルを幅広いエネルギー領域で測定した。また、ほぼ同じイオン化ポテンシャルを持つ希ガス原子 Kr の光電子スペクトルと CO₂ 分子の光電子スペクトルを比較することによって、強レーザー場中でのイオン化過程における分子効果を調べた。

【実験】光電子測定には、光源として再生増幅型フェムト秒チタンサファイアレーザーから出力したパルス幅 100 fs、波長 800 nm のレーザー光を用いた。このレーザー光を、焦点距離 60 mm のレンズで真空中チャンバー内の試料ガスに集光させてイオン化させた。また、分子の運動エネルギー分布の測定には長さ 268 nm の飛行時間(TOF)型電子エネルギー分析装置を用いた。

【結果と考察】直線偏光のレーザー光を光源として、レーザー強度が $9.9 \times 10^{13} \text{ W cm}^{-2} \sim 3.8 \times 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で変化させて CO₂ 分子の光電子スペクトルを測定した。さらに比較のためにレーザー強度が $8.5 \times 10^{13} \text{ W cm}^{-2} \sim 3.6 \times 10^{14} \text{ W cm}^{-2}$ の範囲で Kr 原子の光電子スペクトルを測定した。CO₂ 分子の光電子スペクトルを図 1 に、Kr 原子の光電子スペクトルを図 2 に示す。

図 1、2 中にそれぞれのスペクトルについてのレーザー強度 (W cm^{-2})、電場中での電子振動の平均エネルギーであるポンドロモティブエネルギー U_p ^{1,2} および Keldysh パラメータ γ ^{3,4} の値を示す。ここで、Keldysh パラメータとは、ある光強度で多光子イオン化または電場イオン化過程のどちらが優勢であるかを見積もるために用いるパラメータである。

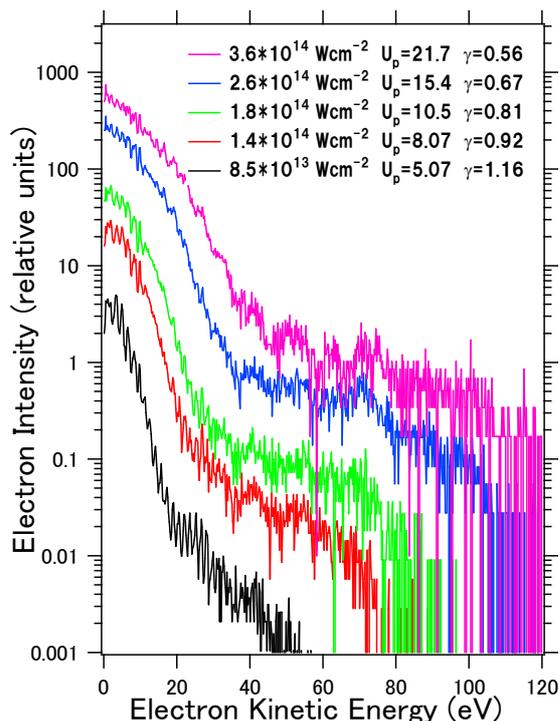


図 1 CO₂ 分子の光電子スペクトル

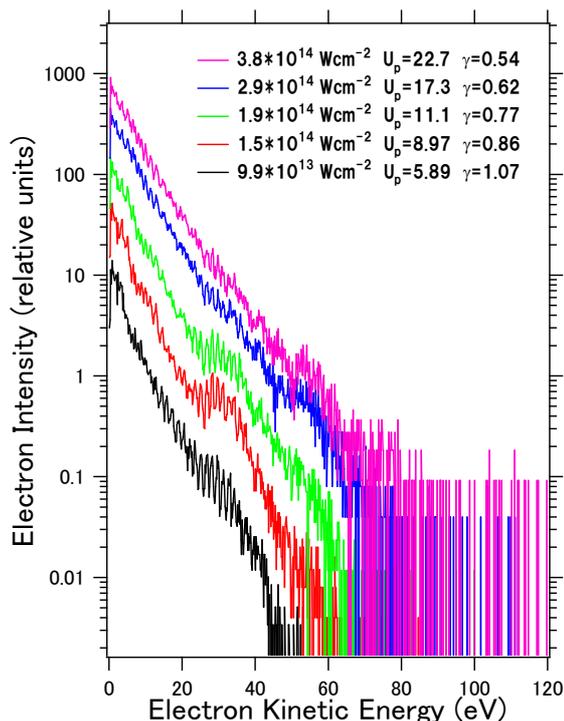


図 2 Kr 原子の光電子スペクトル

図 1 と図 2 を比較すると、CO₂ 分子の光電子スペクトルでは運動エネルギー20~30 eV(～2U_p)付近から傾きが急に緩やかになった。これに対して、Kr 原子の光電子スペクトルでは、運動エネルギーの増加に伴い急激に減少した。高い運動エネルギー領域(> 2U_p)の電子は、最初に放出された電子がレーザー電場により分子に再衝突・再散乱された後放出されたものであることから、Kr原子では、再散乱による電子散乱の確率がCO₂分子に比べて低いことを意味している。

次に、両者の10~20 eV以下の低エネルギー領域に違いが見られた。CO₂分子の光電子スペクトルでは、運動エネルギーの増加に伴う減少がなだらかなのに対して、Kr 原子の光電子スペクトルでは、シャープになっている。これは、CO₂分子の最外殻軌道が反対称軌道であるため散乱される電子の散乱波が干渉効果によって打ち消しあって、CO₂分子の電子強度が低下したためであると考えられる⁵。

以上の結果に対し、ポスター発表では様々な見地から考察し、発表する。

- [1] R. R. Freeman and P. H. Bucksbaum, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 24, 325 (1991).
- [2] P. H. Bucksbaum, M. Bashkansky and T. J. McIlath, Phys. Rev. Lett. 58, 349 (1987).
- [3] L. V. Keldysh, Sov. Phys. JETP 20, 1307 (1965).
- [4] E. Mevel, P. Breger, R. Tranham, G. Petite, P. Agostini, A. Migus, J. P. Chambaret, and A. Anonetti, Phys. Rev. Lett. 70, 406 (1993).
- [5] F. Grasbon et al., Phys. Rev. A63, 041402 (2001)