

楕円偏光した高強度非共鳴レーザー電場による

2 原子分子のトンネルイオン化

(東大院理) ○金井恒人・峰本紳一郎・酒井広文

高強度レーザー電場による原子・分子のトンネルイオン化の理論は多価イオンの生成[1, 2]や高次高調波発生[3]など多くの興味深い物理現象の基礎になっている。原子に対しては ADK(Ammosov-Delone-Krainov)理論がイオン化率を比較的正しく予言し一定の成功を収めた。しかし、分子に対してはイオン化率を正しく記述する標準的な理論は存在しない。今回、高強度レーザー電場による 2 原子分子のイオン化過程を調べるため、以下のようなモデルに基づきイオン化率の時間発展を解析的、数値的に考察した。

レーザー電場が分子軸方向にある大きさの成分をもつならば、Landau-Zener 遷移により低いエネルギー固有状態 ϕ_1 から高いエネルギー固有状態 ϕ_2 への確率密度の汲み上げがおこる。解析的な計算により、 $2n-1$ および $2n$ 回目の非断熱遷移の後 ϕ_1 に電子を観測する確率は、

$$P_{2n-1} = |\beta_{2n-2} + \sqrt{1-q} e^{-i(\alpha+\phi)} \beta_{2n-1}|^2, \\ P_{2n} = q |\beta_{2n}|^2, \quad (1)$$

で与えられる[4, 5]。ここで、 ϕ は Stokes phase、 α は電場の分子軸方向の振幅と振動数の比、 q は ϕ_1 と ϕ_2 のエネルギー差の時間変化率と結合の強さにより決まるパラメータ、 β は再帰的關係式、

$$\beta_{n+1} = -2i \{ \sqrt{1-q} \sin(\alpha+\phi) \} \beta_n + \beta_{n-1}, \beta_0=0, \beta_1=1$$

により与えられる係数である。

一方、ADK 理論の拡張として最近提唱された MO-ADK 理論[6]によれば、 ϕ_1 と ϕ_2 からのイオン化率はそれぞれ、

$$w_{stat}(F, \mathbf{R}) = \sum_{m'} \frac{B^2(m')}{2^{|m'|} |m'|!} \frac{1}{\kappa^{2Z_c/\kappa-1}} \left(\frac{2\kappa^3}{F} \right)^{2Z_c/\kappa-|m'|-1} e^{-2\kappa^3/3F} \quad (2)$$

で与えられる。ただし、 F は電場の大きさ、 Z_c は有効クーロン電荷、 κ は各イオン

化ポテンシャルによって決まるパラメータ、 m' は分子軸方向の磁気量子数、 $B(m')$ は、

$$B(m') = \sum_l C_l D_{m',m}^l(\mathbf{R}) Q(l, m'),$$

$$Q(l, m) = (-1)^m \sqrt{\frac{(2l+1)(l+|m|)!}{2(l-|m|)!}}.$$

で与えられる係数である。ここで、 $D_{m',m}^l$ は回転行列、 $\mathbf{R}$ は分子軸と電場方向との Euler 角、 C_l は多散乱法により計算される係数である。

式(1)(2)により、分子全体のイオン化率の時間発展を計算することができる。ここで注目すべきは、MO-ADK 理論はイオン化率が分子軸と電場方向との Euler 角に依存することを予言していることである。例えば、レーザー強度 $I=10^{14}$ W/cm² 中の酸素分子のイオン化について、分子軸と電場の向きが揃っているときのイオン化率は、軌道間の相殺的干渉のため、ランダムに配向している場合と比較して 0.5 倍程度と計算されている[6]。著者等のモデル化により電子の励起とトンネルイオン化の両方の過程において分子軸とレーザー電場の偏光状態との関係を初めて明らかにすることができ、偏光状態の時間発展を適切に仮定することによって、楕円率が一定の場合と比較してイオン化を促進または抑制する可能性を調べられる。

さらに、核間距離が大きくなると、電子が核の近傍に局在化することにより **enhanced ionization** と呼ばれる現象がおこる。これら動的な効果によるイオン化率の変化についても議論する。

[1] H. Sakai, H. Stapelfeldt, E. Constant, M. Y. Ivanov, D. R. Matussek, J. S. Wright, and P. B. Corkum, *Phys. Rev. Lett.* **81**, 2217 (1998).

[2] H. Sakai, J. J. Larsen, I. Wendt-Larsen, J. Olesen, P. B. Corkum, and H. Stapelfeldt, *Phys. Rev. A* **67**, 063404 (2003).

[3] H. Sakai and K. Miyazaki, *Appl. Phys. B* **61**, 493 (1995).

[4] Y. Kayanuma, *Phys. Rev. B* **47**, 9940 (1993).

[5] C. Zhu, Y. Teranishi, and H. Nakamura, *Adv. Chem. Phys.*, **117**, 127 (2001).

[6] X. M. Tong, Z. X. Zhao, and C. D. Lin, *Phys. Rev. A* **66**, 033402 (2002).