

近赤外強レーザー場における He 原子の超高速 2 光子ラビ振動過程

(名大院理¹, 理研², Fu-Jen Catholic Univ.³, JASRI⁴, 新潟大理⁵, 電通大⁶)

○伏谷瑞穂^{1,2}, Chien-Nan Liu³, 松田晃孝¹, 遠藤友随¹, 樋田裕斗¹, 永園充², 富樫格⁴,
彦坂泰正^{2,5}, 森下亨⁶, 菱川明栄^{1,2}

Ultrafast Two-Photon Rabi Oscillation Processes of He Atoms in Intense NIR Laser Fields

(Nagoya Univ.¹, RIKEN², Fu-Jen Catholic Univ.³, JASRI⁴, Niigata Univ.⁵, UEC Tokyo⁶)

○Mizuho Fushitani^{1,2}, Chien-Nan Liu³, Akitaka Matsuda¹, Tomoyuki Endo¹,
Yuto Toida¹, Mitsuru Nagasono², Tadashi Togashi⁴, Yasumasa Hikosaka^{2,5},
Toru Morishita⁶, and Akiyoshi Hishikawa^{1,2}

【序】近赤外高強度レーザー ($>10^{12}$ W/cm²) にさらされた原子分子は多光子吸収によるイオン化を起こす。レーザー場との相互作用によりエネルギーシフトしたリユードベリ準位が共鳴に近づくと、イオン化速度の促進とともに初期状態からのコヒーレントな励起が起こると期待される。最近、我々の研究によって、偏極した励起 He 原子(2¹P,1s2p)の 3 光子イオン化過程において 1snf(n=5,6)リユードベリ準位に共鳴した光電子信号が周期的な強度変化を示すことが見いだされ、この周期構造は 1s2p と 1snf(n=5,6)状態間の 2 光子結合によるコヒーレント相互作用によるものと解釈された[1]。この結果はリユードベリ状態からの 1 光子イオン化よりも下準位(1s2p)との 2 光子結合によるラビ振動が効率よく進行することを示しており、この 2 光子ラビ遷移が極めて高速に起きていることが示唆された。本研究では、強レーザー場における He*原子の 2 光子ラビ振動機構を理解することを目的として、モデル解析を行った。

【結果と考察】実験で観測された偏極 He 原子(2¹P)の近赤外 3 光子イオン化における 1s6f 光電子ピークのレーザー場強度依存性を図 1 (a)に示す。この結果は時間依存シュレディンガー方程式に基づく理論計算でも再現され、ポピュレーション解析から 1s2p および 1s6p 状態間で 2 光子ラビ振動が起きていることが明らかになった[2]。一方、1s6f 光電子ピークの信号強度は 1.7 および 3.6 TW/cm²で極大値、2.5 および 6.3 TW/cm²で極小値を示し、光強度ともに周期が増大していることが見いだされた。摂動論では 2 光子ラビ振動周波数はレーザー場強度に対して線形変化を示すため[3]、単純な 2 準位モデルでは実験結果を理解することができない。

観測された超高速 2 光子ラビ振動機構を理解するため、図 1 (b)および(c)に示す 4 準位モデルを用いた解析を行った。強レーザーパルス (795 nm, 45 fs) の下で時間依存シュレディンガー方程式を解いて得られた結果 (図 1 (d)) は実験結果をよく再現しており、このモデルが定性的に正しいことを示している。レーザー場強度 10 TW/cm²における各状態のポピュレーションの時間変化 (図 1 (e)) は、(i)1s2p から 1s3d および 1s5f 状態へポピュレーション移動が過渡的に起こるものの、レーザーとの相互作用後には主に 1s2p と 1s6f 状態となること、(ii) 2 光子ラビ振動の周期が 40 fs 程度であり、これまでに観測された 2 光子ラビ振動に比べて 10⁶倍以上高速であること、を示している。

図 1(f)にドレスト状態エネルギー固有値[4]の光強度依存性を示す。2 p-6f 状態間のラビ周波数は光強度に対して緩やかに増加するものの、ほぼ一定の値($\Omega_{2p-6f} \sim 4 \times 10^{-3}$ au)を示していること

が見いだされ、このために摂動2光子遷移によるラビ振動からの予想とは大きく異なる振舞いとなることがわかった。こうした振舞いは $1s2p, 1s5f, 1s6f$ あるいは $1s2p, 1s3d, 1s6f$ などの3準位モデルでは見いだされず、 $1s3d$ および $1s5f$ 状態を含む4準位間のコヒーレントな相互作用によって、 $2p$ - $6f$ 状態間に超高速2光子ラビ振動が現れていることが示された。

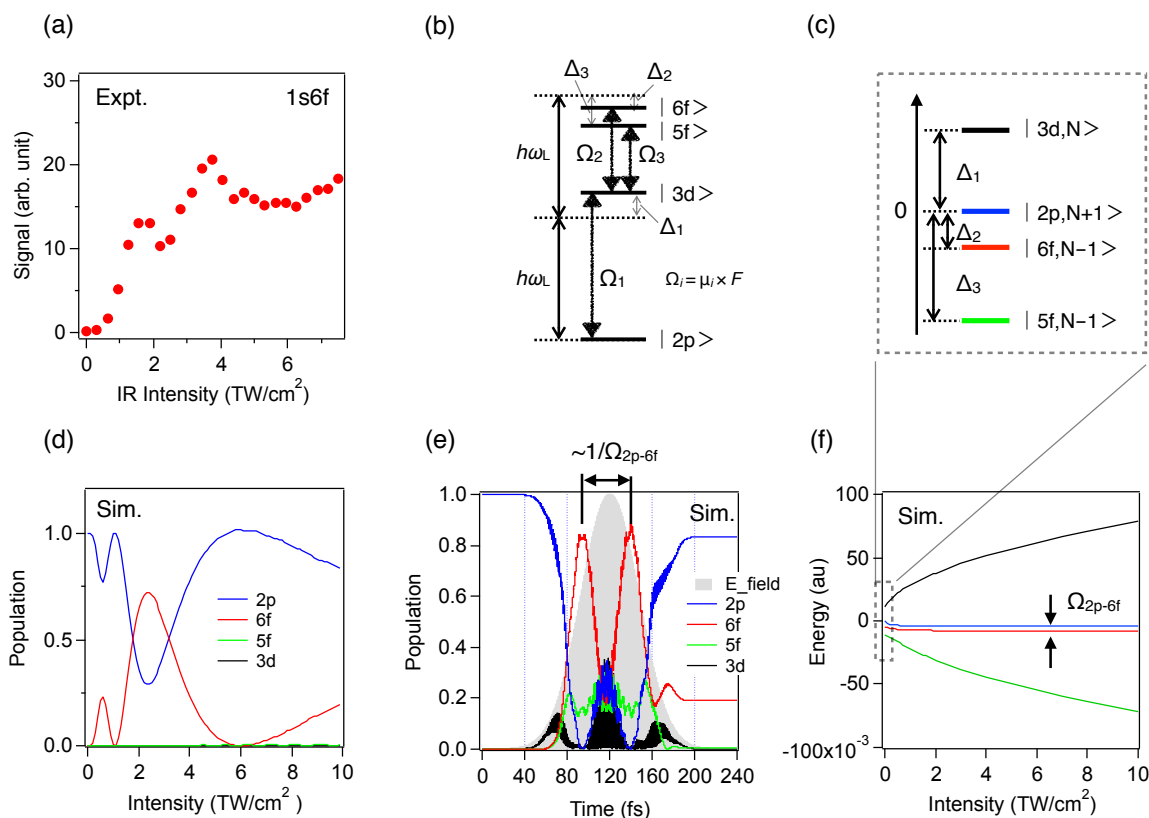


図1 (a): 偏極 He 原子(2^1P)の近赤外 3 光子イオン化における $1s6f$ 光電子ピークの光強度依存性[1]
 (b): 4 準位モデル ($1s2p, 1s3d, 1s5f, 1s6f$) における He 原子のエネルギー図。 Ω : 共鳴ラビ周波数, Δ : 共鳴からのエネルギー差, $\hbar\omega_L$; 光子エネルギー(1.56 eV), μ : 双極子モーメント, F : レーザー電場。
 (c): ドレスト状態描像におけるエネルギー準位。 N : 光子数。
 (d): $1s2p, 1s3d, 1s5f$ および $1s6f$ 状態のポピュレーションの光強度依存性
 (e): $1s2p, 1s3d, 1s5f$ および $1s6f$ 状態のポピュレーションの時間変化 (レーザー場強度: 10 TW/cm^2)
 (f): ドレスト状態描像でのエネルギー準位の光強度依存性

【参考文献】

- [1] 伏谷ら, 2013 年 第 7 回分子科学討論会 2A17.
- [2] Fushitani *et al.*, to be published.
- [3] Linskens *et al.*, Phys. Rev. A **54**, 4854 (1996).
- [4] C. Cohen-Tannoudji, J. Dupont-Roc, and G. Grynberg, “Atom- Photon Interactions” (Wiley, 1993)