

強電場レーザーパルスを用いた波束の分散制御

¹奈良先端科技大, ²東北大院理, ³分子研

○香月浩之¹, 大槻幸義², 安食徹², 後藤悠³, 大森賢治³

Controlling Ultrafast Wave-packet Dispersion by Strong-laser-induced Quantum Interference

○Hiroyuki Katsuki¹, Yuki Yoshi Ohtsuki², Toru Ajiki², Haruka Goto³, Kenji Ohmori³

¹ Graduate School of Science and Technology, Nara Institute of Science and Technology, Japan

² Department of Chemistry, Graduate School of Science, Tohoku University, Japan

³ Institute for Molecular Science, Japan

【Abstract】 The dispersion of a wave packet is a general phenomenon that exists in every quantum system other than harmonic oscillators. A non-dispersive wave packet is a general topic, and has been attracting much interest of researchers in the field of mathematics, physics, and engineering. Here we demonstrate a new approach to actively control the dispersion of a quantum wave packet. A vibrational wave packet is generated in the iodine molecule and irradiated with a strong non-resonant femtosecond laser pulse. We have found that the dispersion of this wave packet is advanced or retarded depending on the timing of the strong laser pulse. This is due to the instantaneous phase jump among the vibrational eigenstates induced by the strong electric field, which have been measured directly by the wave packet interferometry. These results qualitatively agree with simulations based on the time-dependent Schrödinger equations.

【序】 波束の分散は非調和性の結果であり、調和振動子以外の量子系において普遍的に存在する事象である。その影響をできるだけ抑え、局在化した状態を保持するソリトンのような波束は数学、物理学、エンジニアリングなど多岐にわたる分野で多くの研究者の興味を集めている。以前の研究で、我々は強電場の照射によって波束内の量子状態間の干渉を引き起こし、そのポピュレーション分布を制御できることを報告している[1]。本研究ではさらにその手法を発展させ、強電場によって変調された波束に対してラムゼイフリンジ測定を行い、位相シフトの測定を行うことによって、強電場が固有波動関数の位相に与える影響について議論する。

【実験】 対象とする実験系として、図 1 (a) に示した気相中の孤立ヨウ素分子の電子振動準位を用いる [2, 3]。フェムト秒ポンプパルスによって生成した B 電子状態の振動波束に対し、中心波長 1540nm の近赤外フェムト秒パルス (NIR パルス) を照射し、波束に含まれる振動準位間の干渉を引き起こす。この際、プローブ光としてフェムト秒のパルスを用いることで波束の時間発展を量子ビートとして観測することができる (図 1 (b))。一方、波束内に含まれる量子状態の位相については図 1 (c) に示したように、ダブルパルス励起とナノ秒プローブによる状態選別計測を行うことで測定することができる。実際の測定では各準位の絶対位相の測定はできないため、基準となる振動準位 (B 状態の $v=30$) に対して、その近傍に存在する $v=29$ 及び $v=31$ の両準位の相対位相が受ける影響について、評価を試みた。また、実験に使用したレーザーのパラメータを利用して、時間依存シュレーディンガー方程式 (TDSE) の

近似解析解を用いたシミュレーションを行い[4]、各振動準位が NIR パルスによって受ける位相の変化を計算して、実験と比較を試みた。

【結果・考察】まず図 1(b)のスキームに従い、NIR パルスを入射した場合のポンププローブ信号の量子ビートの形状を測定し、NIR パルスを照射するタイミングに応じてその後の量子ビートの形状が変化していることを確認した。このことは準位間の相対位相やポピュレーション分布に変化が起きていることを示している。より詳細にこれらの変化を議論するために、図 1(c)のスキームに従い、 $v=29, 30, 31$ の各準位間の相対位相測定を、NIR パルスの照射あり/なしの各条件で行った。両者において得られた 2 準位間の位相差を計算することで、NIR パルスが波束に及ぼす影響を議論することができる。実験結果から、 $v=30$ に対して $v=29$ 及び $v=31$ の準位が受ける相対位相の変化は、NIR パルスのタイミングによって複雑に変化することがわかった。これらの結果は TDSE シミュレーションにおいても再現することができた。

興味深いことに TDSE シミュレーションの結果から、特定のタイミングで NIR パルスを入射した場合、 $v=29$ 及び $v=31$ に誘起される位相ジャンプ量の絶対値が等しく、符号のみ逆転しているような状況を実現できることが示された。この結果は、時間発展によって非調和性の結果、波束に含まれる固有状態間の相対位相差が蓄積していく状況において、波束の状態 $\psi(t)$ を外部摂動によって $\psi(t \pm \Delta)$ の状態に変更できることを示唆している。今回得られた知見は振動波束の運動に限定されるものではなく、複数の量子準位からなる任意の量子波束に適用可能であり、分散を制御する新しい方法として今後応用が可能であると考えられる。

【参考文献】

- [1] H. Goto, H. Katsuki, H. Ibrahim, H. Chiba, and K. Ohmori, Nat. Phys. **7**, 383 (2011).
- [2] H. Katsuki, H. Chiba, B. Girard, C. Meier, and K. Ohmori, Science **311**, 1589 (2006).
- [3] H. Katsuki, H. Chiba, C. Meier, B. Girard, and K. Ohmori, Phys. Rev. Lett. **102**, 103602 (2009).
- [4] Y. Ohtsuki, H. Goto, H. Katsuki, and K. Ohmori, Phys. Chem. Chem. Phys. **16**, 5689 (2014).

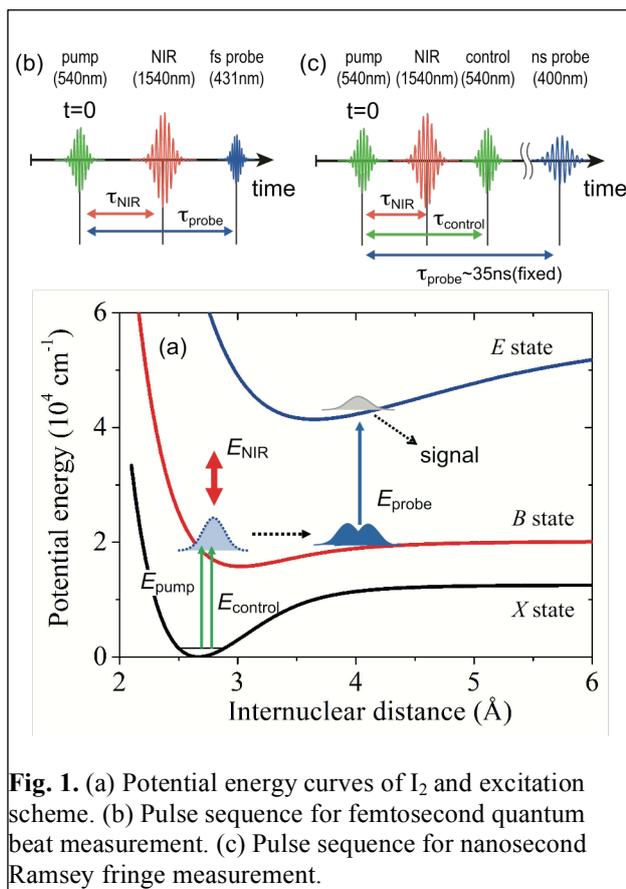


Fig. 1. (a) Potential energy curves of I_2 and excitation scheme. (b) Pulse sequence for femtosecond quantum beat measurement. (c) Pulse sequence for nanosecond Ramsey fringe measurement.