

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19540416

研究課題名 (和文) アト秒レーザーパルスを用いた超高速原子過程の実時間分析と制御

研究課題名 (英文) Real time analysis and control of ultrafast atomic processes with attosecond laser pulses

研究代表者

森下 亨 (MORISHITA TORU)

電気通信大学・電気通信学部・助教

研究者番号：19540416

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・原子・分子・量子エレクトロニクス・プラズマ

キーワード：強レーザー、アト秒、電子相関、イメージング

1. 研究計画の概要

2001年のアト秒パルスの登場によって、原子内の電子状態の実時間領域での観測、さらには電子状態の制御への可能性が開けた。本研究では、アト秒領域の超高速過程のうち、超短パルスを用いた多電子励起状態の実時間分析と制御、および関連する量子ダイナミクスについての理論的研究を行う。

2. 研究の進捗状況

多電子励起状態の関与する過程は強い電子相関に支配されるので、その本質的な理解を得るには、従来型の独立粒子モデルでは困難であり、電子を集団として捉えた方が見通しがよい。つまり原子内電子は核のまわりの平衡位置に配置し、その近傍で電子同士が相関を持って互いに近づいたり退けたりするという捉え方である。例えば、He 様の2電子原子では、2つの電子は原子核を中心としたX-Y-X型の線形3原子分子のようにアト秒オーダーの周期で振動・回転するのである。そこで本研究では、アト秒パルスを用いて集団運動の観点から実時間での電子相関を解明することが目的である。さらに、複数のパルスによって特定の集団運動モードのみを選択的に励起するといった多電子励起状態の制御について研究を進めて行く。

関連の強い多電子原子のレーザー場中での実時間ダイナミクスを見通しよく記述するために、“時間依存超球座標緊密結合 (TDHSCC) 法”という新しい計算手法の開発を行い、ポンプ・プローブレザーによる遷移確率等の物理量を精密に計算し、多電子

励起状態の生成メカニズムおよび多電子相関の実時間イメージングの分析を行っている。大規模メモリー搭載の高速計算機を導入し高効率化を進めている。これまでに、ポンプ・プローブレザーによる遷移確率等の物理量の予備的計算を行い、得られた結果の一部を学会において発表した。

また、実時間イメージングの深い理解と新たな知見を獲得するため、強レーザーによって誘起される再衝突電子を利用したイメージング、および Siegert 法による新しい数値解法の開発についての研究を進めている。さらに、BECを用いた干渉計における量子多体効果といった、関連する量子系の時間発展についての考察も行っている。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

TDHSCC 法の改良を行い、様々なレーザーパラメータに対して効率よく分析を行っている。強レーザー場中での He 内の電子対の振舞を調べ、3原子分子の固有モードとの対応を分析し、国際学会で発表した。

関連するイメージング法について、強レーザーによる原子のイオン化スペクトルの実験結果から、原子の電荷密度分布を抽出することが可能であることを確かめた。また、Siegert 法による数値解法を確立し、X線領域の強レーザー場中の原子のイオン化問題に取り組んだ。

BECに基づく干渉計についても原子間相互作用に起因すると見られる位相空間で

の渦状構造を発見したので、原子干渉計のコントラストに現れる振動構造(干渉縞)との関係を理論的に考察した。原子間相互作用の強さを表すパラメータと、コントラストに現れる節の研究を継続中である。

4. 今後の研究の推進方策

これまでに蓄積した知見をもとに、関連の強い多電子原子のレーザー場中での実時間ダイナミクスの研究を進めていく。電子の運動よりも遅く変化する赤外レーザーの電場によって多電子の相関を効率よく抽出する方法の開発をすすめていく。関連する量子系のダイナミクスについても研究をすすめていく。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 19 件)

- ① "Adiabatic theory of ionization of atoms by intense laser pulses: One-dimensional zero-range-potential model" O.I. Tolstikhin, T. Morishita, and S. Watanabe, Phys. Rev. A 81, 033415 (2010) (27 pages) 査読有
- ② "Retrieval of experimental differential electron-ion elastic scattering cross sections from high-energy ATI spectra of rare gas atoms by infrared lasers" T. Morishita, M. Okunishi, K. Shimada, G. Prümper, K. Shimada, Z. Chen, S. Watanabe, K. Ueda, and C. D. Lin, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 42, 105205 (2009) (6 pages) 査読有
- ③ "Experimental retrieval of target structure information from laser-induced rescattered photoelectron momentum distributions", M. Okunishi, T. Morishita, G. Prümper, K. Shimada, C.D. Lin, S. Watanabe, and K. Ueda, Phys. Rev. Lett. 100, 143001 (2008). 査読有

[学会発表] (計 30 件)

- ① "Probing the molecule-like modes of doubly excited states of helium atoms", C.-N. Liu, T. Morishita, S. Watanabe, International Conference on Photonic, Electronic, and Atomic Collisions, Kalamazoo, USA, July 22-28, 2009

[図書] (計 3 件)

- ① 森下亨, 「光科学の未来を拓く. 量子ダイナミクスを撮影する超高速ビデオカメラ」, 独立行政法人 科学技術振興機構(JST) 戦略事業本部 研究推進部, 2009 年

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

○取得状況 (計 0 件)