

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05495

研究課題名(和文) 2色円偏光強レーザー場における原子・分子電離過程の解明と制御

研究課題名(英文) Understand and control the ionization processes of atoms and molecules in strong two-color laser fields

研究代表者

トン ショウミン (Tong, XiaoMin)

筑波大学・計算科学研究センター・准教授

研究者番号：80422210

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：強レーザー場における原子・分子、クラスターとナノ粒子に対して、FFTを利用して新時間依存密度汎関数計算方法を開発した。その計算方法に基づく大規模な数値計算で、水素分子や酸素分子の電離と解離過程を解明し、その理解の上に、強レーザー場で、動的過程の制御を提案した。さらに、円偏光アト秒レーザーを生成するために、2色円偏光強レーザー場中の原子過程を詳しく計算で、高次高調波の生成と関連の電離過程を解明した。特に、楕円偏光強レーザー場中原子の電離と励起二つの過程を統一の分析方法を開発した。たくさん関係過程をこの方法で分析することになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は基礎研究である。学術意義について三の点から述べる。(1) 計算方法の開発：より精度の良い時間依存密度汎関数の計算方法を開発し、強レーザーにおけるナノ粒子の動的過程を理論計算で調べることができる。(2) 基礎過程の解明：理論計算で、強レーザー場の補助で水素分子や酸素分子X線での電離と解離のメカニズムを解明し、基礎の過程に対して、理解できる。(3) 動的過程の制御：メカニズムの解明による、レーザーの強度やX線との到着の時間遅延で電離と解離過程の制御ができることを明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We have developed a new time-dependent density functional method based on FFT for atoms, molecules, clusters and nano-particles in a strong laser field. Based on the method, we have investigated the ionization and dissociation processes of hydrogen molecules, oxygen molecules in an intense laser field and based the understanding we proposed a way to control the dynamics processes by intense lasers. Meanwhile, to cope with the researches on the generating a circularly polarized attosecond pulse, we have investigated the related processes, atomic ionization in two-color circularly polarized laser fields and our results are in good agreement with experiments. Specially, we have developed a theory to treat the photo-ionization and photo-excitation of atoms in a strong elliptically polarized field in a unified way and the method can be used for many dynamics processes.

研究分野：物理 原子分子

キーワード：強レーザー場 原子励起と電離 アト秒物理 楕円偏光

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

レーザー技術の進展に伴う、赤外線や中赤外線強レーザーで生成されたアト秒レーザーが実用可能になったが、大分線偏光パルスしかなかったのは事実であった。研究開始当初、生体分子測定のために、2色円偏光強レーザーで円偏光アト秒パルス生成の実験報告があった。従来、円偏光強レーザーで高次高調波が生成できないのは常識であるのに、なぜ、2色円偏光でできるのか。そのメカニズムや関連の過程、例えば、楕円偏光強レーザー場における原子電離過程などが、研究の焦点になった。

強レーザー場における原子・分子過程は複雑であるので、通常の摂動論は適用しないのは、この研究分野よく知られている。さらに、原子・分子だけではなく、クラスター、ナノ粒子や固体と強レーザー場の相互作用の研究もし始めた。その理論研究は従来の線偏光強レーザー場における原子の計算と比べて、問題は難しく、計算量も膨大になっている。その背景で、新しい計算手法の開発が必要の条件となった。

## 2. 研究の目的

まず、強レーザー場における多原子分子やクラスター電離過程に対して、第一原理計算できる計算手法を開発して、その計算方法で2色円偏光レーザー場における分子電離過程のメカニズムを解明する。そのうえで、2色レーザーの時間遅延による、分子電離解離過程の制御方法を探索する。更なるその計算コードを最新の計算加速装置 Xeon Phi に移植して、強レーザーにおける分子電離と分子軸とレーザー場になす角の関係を研究する。最後、その計算コードを並列化して、筑波大学計算科学センターの Xeon Phi を着用のスーパーコンピューターで大量な計算をして、様々な問題を研究する。

## 3. 研究の方法

(1) 我々が開発した線偏光強レーザー場における原子動的過程の計算方法を楕円偏光の問題解決できるように、書き直した。計算量だけ、楕円偏光の方は線偏光の方より、千倍以上になっているので、計算コードを並列化して、筑波大学計算科学センターの Xeon Phi を着用のスーパーコンピューターで大量な計算を行った。

(2) 強レーザー場中における多原子系に対して、高速フーリエ変換で新しい時間依存密度汎関数計算法の開発である。この作業を終えたから、出来た計算コードを計算加速器 Xeon Phi に移植して、並列化後、大規模な計算で、様々な強レーザー場における分子電離過程の研究が可能になる。

## 4. 研究成果

### 3次元時間依存の計算コードの開発

線偏向強レーザー場における原子による高次高調波の生成は新しいアト秒レーザーの光源としてよく使われているが、生体分子はキラリティー分子であるので、円偏光のアト秒レーザーで測定されたら、たくさんの生体分子の情報を得るのは本分野の研究課題になった。単色円偏光強レーザー場中高次高調波の生成が原理的にできない。Colorado 大学の実験グループが2色円偏向強レーザーを用いて、円偏光アト秒レーザーの生成が成功と報告した。生成したアト秒レーザーの強度とエネルギーが原子核に戻る電子の状況に依存するので、我々は従来線偏向強レーザー

場における原子過程に対しての計算コード（2次元時間依存の計算）を円偏光線偏向強レーザー場における原子過程（3次元時間依存の計算）に拡張した。計算量が数百倍、数千倍増えているために、スーパーコンピュータOakforest-PACSに移植した。開発した計算コードで以下の研究成果を得た。

### (1) 2色円偏光レーザー場における原子電離

簡単なトンネル電離のモデルの予測によると電離確率と偏光の向き（同じか）は関係ないのに、我々の計算は関係あると予測した。2色円偏光レーザー場における円偏向アトレーザーの生成量は原子核に戻る電子の状況に依存するために、我々は2色レーザーの強度と時間遅延より、電子確率増加の方法を大規模な数値計算で探索した。図1のように、実験で我々の予測を確認された。この研究はアメリカColorado大学の実験グループ共同研究の成果としたPhysical Review Aに発表した。さらに、その研究結果によって、より高強度の円偏光アトレーザーの生成が可能になった。

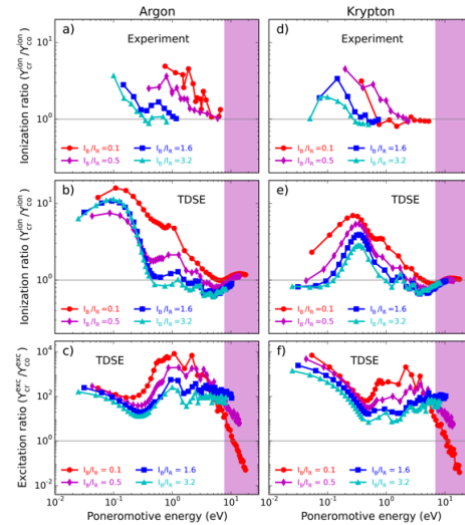


図1：2色円偏向強レーザー場におけるAr, Kr原子電離確率と2色レーザー強度の関係。

### (2) 強レーザー場における原子多重電離過程

レーザー技術の進歩に伴い、中赤外線強レーザーにおける原子電離過程の報告が次々発表されたが、多電子関連しているので、理論解釈は難しい。その理由は従来よく使われている単電子近似が利用できなくなるからである。我々は新しい時間依存の密度汎関数理論の計算方法を開発し、その新計算方法で強レーザー場における原子多重電離過程を調べた。従来の実験結果と理論計算によって、レーザー強度を上げると、二重電離の割合も上がる。我々の計算結果によると、図2のようにある強度の領域内レーザー強度を下げると、二重電離の割合が上がる。この異常な現象をスペインの実験グループに報告したところ、実験でこの現象は確認された。本研究は国際共同研究の成果として、Physical Review Aに発表した。

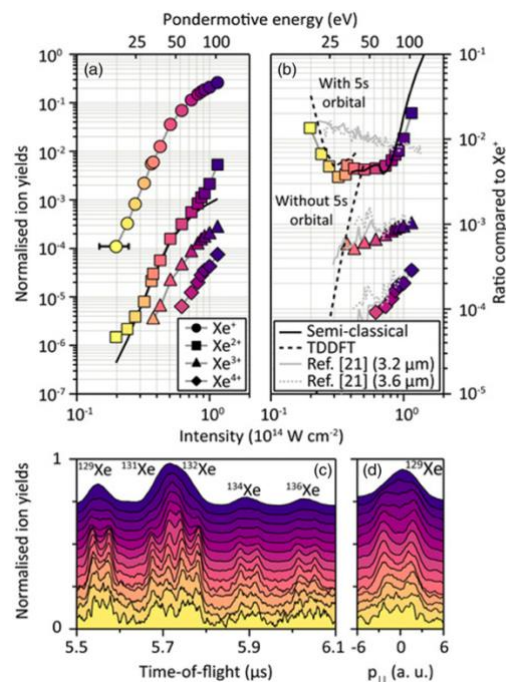


図2：中赤外線強レーザー場におけるXe原子の多重電離確率と強度の関係。

### (3) 楕円偏向強レーザー場における原子過程

楕円偏向強レーザー場における原子の電離と励起は二つ独立の過程であるので、別々に分析するのが従来の研究のやり方であった。我々は3次元時間依存の計算方法を開発したが、楕円偏光強レーザー場中原子励起と電離過程別々で計算するのは膨大な計算資源が必要である。計算資

源の節約と基礎過程の理解のために、励起と電離過程を統一する分析手法を探索した。摂動論適用な問題に対し、量子欠損理論で、光励起と光電離過程を量子欠損で統一描写することができる。その理論を楕円偏光強レーザーの問題に応用すると図3のように励起確率を適切な規格化された後、電離確率と同じ分析することができる。その結果で励起と電離、どちらか一つの状況がわかったら、すべての(励起と電離)状況も分かれることになる。その研究結果は Phys. Rev. A に発表した。

#### (4) レーザー補助の光電子異常な角度分布

最近、実験で強レーザー補助の原子 X 線電離電子の角度分布が測定された。その結果はこの分野でよく使われている強レーザー場近似の予測と異なるということが図4のように示された。その原因を調べるために、我々は理論計算を行った。電離された電子と親イオンとのクーロン相互作用の有無を比べて、その異常な角度分布はクーロン相互作用の影響であると明示された。その研究結果は Phys. Rev. A に発表した。

#### (5) 反陽子とヘリウム原子の衝突過程

我々が開発した3次元時間依存の計算コードは強レーザー場における原子過程以外の原子過程も計算可能かどうかを調べた。ウィーン工科大学の共同研究者が反陽子とヘリウム原子の衝突によってエネルギーの損失について計算したとき、異常な入射エネルギーの依存性が見つかった。その依存性を確認のために私と連絡して、我々の計算手法で反陽子とヘリウム原子の衝突によってエネルギーの損失について計算したところ、異常な入射エネルギーの依存性は計算収束の原因と確認した。先方は我々のような大規模な収束計算を行った。改善された計算結果は図5のように予測な入射エネルギーの依存性を再現できた。共同研究の結果は Phys. Rev. A に発表した。

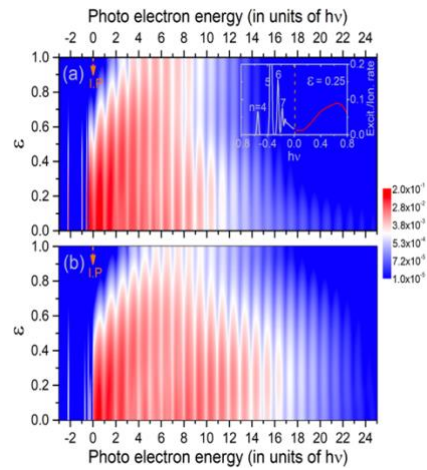


図3：楕円偏光強レーザー場における水素原子の励起や電離と楕円度の関係。差し込み図は励起と電離過程を統一で表せる。

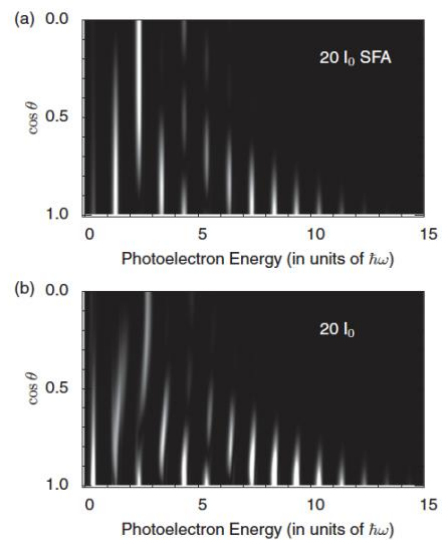


図4：強レーザー補助の光電離電子の角度分布。(a) 従来強レーザー場近似の理論予測、(b) 我々の計算結果。

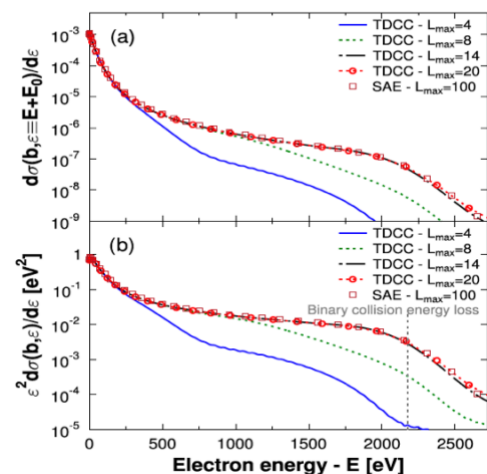


図5：反陽子とヘリウム原子衝突における電離された電子のエネルギー分布。(a) 散乱断面積、(b) エネルギー損失断面積。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jiang Wei-Chao, Tong Xiao-Min, Pazourek Renate, Nagele Stefan, Burgdorfer Joachim	4. 巻 101
2. 論文標題 Theory of bound-state coherences generated and probed by optical attosecond pulses	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 063435:1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.053435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Chetty D., Glover R. D., deHarak B. A., Tong X. M., Xu H., Pauly T., Smith N., Hamilton K. R., Bartschat K., Ziegel J. P., Douquet N., Luiten A. N., Light P. S., Litvinyuk I. V., Sang R. T.	4. 巻 101
2. 論文標題 Observation of dynamic Stark resonances in strong-field excitation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 053402:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.101.053402	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Gao Xiang, Tong Xiao-Min	4. 巻 100
2. 論文標題 Coulomb effect on the dynamics of atoms in a strong elliptical laser field: Unification of the excitation and ionization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 063424:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.100.063424	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 K Ueda, E Sokell, S Schippers, F Aumayr, H Sadeghpour, J Burgdorfer, C Lemell, XM Tong, T Pfeifer, F Calegari, A Palacios, F Martin, P Corkum, G Sansone, EV Gryzlova, AN Grum-Grzhimailo, et al.,	4. 巻 52
2. 論文標題 Roadmap on photonic, electronic and atomic collision physics: I. Light-matter interaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics	6. 最初と最後の頁 171001 ~ 171001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/ab26d7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Tong Xiao-Min	4. 巻 99
2. 論文標題 Photoelectron angular distribution of atoms in pulsed XUV and IR fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 043433:1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.99.043422	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ranitovic P., Sturm F. P., Tong X. M., Wright T. W., Ray D., Zalyubovskya I., Shivaram N., Belkacem A., Slaughter D. S., Weber Th.	4. 巻 98
2. 論文標題 Attosecond coherent control of oxygen dissociation by XUV-IR laser fields using three-dimensional momentum imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 013410:1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.98.013410	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Borbely S., Tong X.-M., Nagele S., Feist J., Brezinov I., Lackner F., Nagy L., Tokesi K., Burgdorfer J.	4. 巻 98
2. 論文標題 Electron correlations in the antiproton energy-loss distribution in He	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 012707:1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.98.012707	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Martin L., Bello R. Y., Hogle C. W., Palacios A., Tong X. M., Sanz-Vicario J. L., Jahnke T., Schoffler M., Dorner R., Weber Th., Martin F., Kapteyn H. C., Murnane M. M., Ranitovic P.	4. 巻 97
2. 論文標題 Revealing the role of electron-electron correlations by mapping dissociation of highly excited D2+ using ultrashort XUV pulses	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 062508:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.062508	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Isabella Floss, Christoph Lemell, Georg Wachter, Valerie Smejkal, Shunsuke A. Sato, Xiao-Min Tong, Kazuhiro Yabana, and Joachim Burgdorfer	4. 巻 97
2. 論文標題 Ab initio multiscale simulation of high-order harmonic generation in solids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 011401(R):1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.97.011401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 M. G. Pullen, B. Wolter, X. Wang, X. M. Tong, M. Sclafani, M. Baudisch, H. Pires, C. D. Schroter, J. Ullrich, T. Pfeifer, R. Moshhammer, J. H. Eberly, and J. Biegert	4. 巻 96
2. 論文標題 Transition from nonsequential to sequential double ionization in many-electron systems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 033401:1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.96.033401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 H. Li, X. Gong, K. Lin, R. de Vivie-Riedle, X.M. Tong, J. Wu, and M.F. Kling	4. 巻 50
2. 論文標題 Sub-cycle directional control of the dissociative ionization of H2 in tailored femtosecond laser fields	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. B	6. 最初と最後の頁 172001:1-17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/aa8243	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 X. M. Tong	4. 巻 50
2. 論文標題 A three-dimensional time-dependent Schrodinger equation solver: An application to hydrogen atoms in an elliptical laser field	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Phys. B	6. 最初と最後の頁 144004:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6455/aa77a0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 F. P. Sturm, X. M. Tong, A. Palacios, T. W. Wright, I. Zalyubovskaya, D. Ray, N. Shivaram, F. Martin, A. Belkacem, P. Ranitovic, and Th. Weber	4. 巻 95
2. 論文標題 Mapping and Controlling Ultrafast Dynamics of Highly Excited H <sub>2</sub> Molecules by VUV-IR Pump-Probe Schemes	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 012501:1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.95.012501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 C. A. Mancuso, K. M. Dorney, D. D. Hickstein, J. L. Chaloupka, X. M. Tong, J. L. Ellis, H. C. Kapteyn, and M. M. Murnane	4. 巻 95
2. 論文標題 Enhancement of strong-field ionization in two-color circularly polarized laser fields via photon-spin control	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 012501:1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.95.012501	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 J. E. Calvert, Han Xu, A. J. Palmer, R. D. Glover, D. E. Laban, X. M. Tong, A. S. Kheifets, K. Bartschat, I. V. Litvinyuk, D. Kielpinski, and R. T. Sang	4. 巻 6
2. 論文標題 The interaction of excited atoms and few-cycle laser pulses	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 34101:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep34101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 RT Sang, D Chetty, RG Glover, BA deHarak, XM Tong, H Xu, K Bartschat, N Douquet, AN Luiten, PS Light, IV Litvinyuk
2. 発表標題 Observation of dynamic Stark resonances in strong-field excitation
3. 学会等名 51st Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics, June 1-5, 2020; Portland, Oregon (online) (国際学会)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 CTB Chu, CM Tong, SI Chu
2. 発表標題 Exploration of the Circularly Polarized Attosecond Pulse Generation Mechanisms by Polarization Gating
3. 学会等名 51st Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics, June 1-5, 2020; Portland, Oregon (online) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 XM Tong and N Toshima
2. 発表標題 Abnormal photoelectron angular distribution of Ar atoms in pulsed XUV and IR laser fields
3. 学会等名 XXXI International Conference on photonic, electronic and atomic collision, July 23-30, 2019 Deauville, France. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X Gao and XM Tong
2. 発表標題 Photoabsorption of atoms in a strong elliptical laser field
3. 学会等名 XXXI International Conference on photonic, electronic and atomic collision, July 23-30, 2019 Deauville, France. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S Borbely, XM Tong, S Nagele, J Feist, I Brezinova, F Lackner, L Nagy, K Tokesi and J Burgdorfer
2. 発表標題 Energy loss of p and p in He: electron correlation effects
3. 学会等名 XXXI International Conference on photonic, electronic and atomic collision, July 23-30, 2019 Deauville, France (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 X. M. Tong
2. 発表標題 Theoretical Studies on Antiproton Captured by H and He atoms
3. 学会等名 Workshop to discuss PUMA experiment and its future possibilities, Aug. 24, 2018, Osaka University
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 BD Esry, Yujun Wang, D Ursrey, Henrik R Larsson, DJ Tannor, Nicolas Douguet, Klaus Bartschat, AN Grum-Grzhimailo, Bruno Schulz, Alejandro Saenz, L Marder, DM Reich, CP Koch, A Scrinzi, F Morales, T Bredtmann, HG Muller, S Patchkovskii, Xiao Wang, F Robicheaux, V Mosert, D Bauer, XM Tong, J Svensmark
2. 発表標題 Comparing the performance of time-dependent-Schrodinger-equation solvers for the 800-nm, one-electron-atom, strong-field problem
3. 学会等名 49th Annual Meeting of the APS Division of Atomic, Molecular and Optical Physics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 X. M Tong
2. 発表標題 Ionization of Atoms and Di-Atomic Molecules in Two Color Circularly Polarized Intense Laser Fields
3. 学会等名 The 10th Asian Symposium on Intense Laser Science, Mar. 10-13, 2018, American University of Sharjah, United Arab Emirates (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 X. M. Tong
2. 発表標題 Giant Resonances in Atoms
3. 学会等名 シンポジウム「原子過程科学の歩みと将来」 Sept. 10, 2017, 上智大学四谷キャンパス
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 X. M. Tong
2. 発表標題 A new FFT based TDDFT method for an isolated system in strong field
3. 学会等名 Physical Chemistry Colloquium 2017 Sept. 19-20, 2017, Tohoku University, Sendai, Japan
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 I Floss, G Wachter, C Lemell, S Sato, XM Tong, K Yabana, J Burgdorfer
2. 発表標題 Simulation of High Harmonic Generation in Solids
3. 学会等名 XXX International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions, July 26~ Aug. 1, 2017, Cairns, Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 XM Tong, S Borbely, I Brezinova, F Lackner, S Nagele, J Feist, L Nagy, K Tokesi, N Toshima, J Burgdorfer
2. 発表標題 Energy straggling cross section for antiproton-atom collisions
3. 学会等名 XXX International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions, July 26 -- Aug. 1, 2017, Cairns, Australia (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 X. M. Tong
2. 発表標題 A New FFT based TDDFT method for isolated systems in strong field
3. 学会等名 2nd International Conference on Matter and Radiation at Extremes, June 26-30, 2017, Beijing, China (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Xiao-Min Tong, Nobuyuki Toshima
2. 発表標題 Strong Field Ionization of N <sub>2</sub> Molecules in Two-Colour Circularly Polarized Laser Field
3. 学会等名 12th European Conference on Atoms Molecules and Photons (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考