

【配布日時】

令和 2 年 5 月 29 日

※Physical Review Letters 電子版発表済

【本件リリース先】

(資料配付) 文部科学記者会、科学記者会
大阪科学・大学記者クラブ、兵庫県政記者クラブ、兵庫県教育委員
会記者クラブ、中播磨県民センター記者クラブ、西播磨県民局
記者クラブ、その他

令和 2 年 5 月 29 日

上智大学

量子科学技術研究開発機構

兵庫県立大学

理化学研究所

**発光による衝突後効果の変化を利用するアト秒「ストップウォッチ」
—原子の内殻過程をアト秒で追及する新しい手法—****【発表のポイント】**

- 原子の電子構造のダイナミクスをアト秒オーダーで追及するための新しい方法を提案し、実証した。
- 衝突後相互作用(PCI)によるオージェ電子のエネルギー変化から原子内殻過程における時間情報を得た。
- 上記を放射光と電子分光を用いた実験により達成し、理論計算と比較検討した。

上智大学(学長: 曄道佳明)の小杉聡共同研究員・小池文博共同研究員・東善郎客員教授、および量子科学技術研究開発機構、ソルボンヌ大、理化学研究所、兵庫県立大のグループは原子の多段階内殻緩和過程の時間依存をアト秒オーダーでプローブすることに成功しました。この成果は、米国物理学会発刊の Physical Review Letters 誌の 5 月 8 日付けオンライン版に掲載されました。

【論文名および著者】

雑誌名 : Physical Review Letters

論文タイトル : Fluorescence Time Delay in Multistep Auger Decay as an Internal Clock

オンライン版 <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.124.183001>

URL : DOI: 10.1103/PhysRevLett.124.183001

著者(共著) : Satoshi Kosugi(小杉聡・上智大)、Fumihiko Koike(小池文博・上智大)、Masatomi Iizawa(飯澤正登実・上智大)、Yoshiro Azuma(東善郎・上智大)、James Harries(ジェームズハリーズ・量研)、Marc Simon(マルクシモン・ソルボンヌ大)、Maria Novella Piancastelli(マリアノベラピアンカステッリ・ソルボンヌ大/ウプサラ大)、Renaud Guillemin(ルノーギユマン・ソルボンヌ大)、Masaki Oura(大浦正樹・理研)、Kenji Tamasaku(玉作賢治・理研)、Tatsuo Gejo(下條竜夫・兵庫県立大)

【本件に関する問い合わせ先】**上智大学客員教授 東 善郎 TEL : 090-3226-7406 Email y-azuma@sophia.ac.jp****【成果の概要】**

原子、分子、固体など広い分野にわたって高速時間分解実験(ultra-fast science)は現在大きな興味もたれている。その為に国内外において巨大な X 線自由電子レーザー(XFEL)施設が建設され高速検出技術の開発も競って進められている。実験手法はポンプ・プローブによる測定が主流であり、最近ではフェムト秒オーダーの分解能が得られている。本研究においては放射光と通常の電子分光実験で、自然に生ずる蛍光を仲立ちとしたポンプ・プローブ機能もしくは実質的なストップウォッチ機能をはたす内殻原子過程について PCI(衝突後相互作用)を解析することによって XFEL を凌ぐ約 100 アト秒の精度で崩壊チャンネル間の時間差を明らかにすることに成功した。

【成果の詳細】

エネルギーの高い放射光を原子にあてることによって原子の内殻電子を光電子として飛び出させることができます（内殻光イオン化）。そして残った内殻の空孔に外殻の電子が落ちます。その際に、蛍光が発生することもあるが、外殻からオージェ電子が放出されることもあります。とくに内殻閾値よりもわずかにだけエネルギーの高い X 線で原子の内殻空孔を作ると「ごく遅い」光電子が放出されます。そのあとに放出され得るオージェ電子はずっと速いので光電子を追い越すことになります。この「追い越し」によってオージェ電子・光電子間に PCI(衝突後相互作用)がおり、それぞれの電子のエネルギーに変化が現れます。よって電子のエネルギーを高分解能で測定するとこれらの過程を区別できます。原子の内殻励起では発光の寿命がアト秒のオーダーであるため、発光が起こる過程と起こらない過程を比べることによって、アト秒スケールで原子の多段階内殻緩和ダイナミクスを調べられます。今回は放射光実験施設 SPring-8 のビームライン BL19LXU および BL17SU を用いて、クリプトン原子の内殻過程を探求しました。

- 1s 光イオン化により光電子を発生。できた 1s 空孔に一定時間が経過したのちに 2p 電子が光を放出して落ち、残った 2p 空孔によるオージェ過程が起こる。PCI 効果は 2p 空孔によるオージェ電子と最初の 1s 光電子の間に起こる。
- 2p 光イオン化により光電子を発生。できた 2p 空孔によってただちに発生したオージェ電子との間に PCI 効果が起こる。

上記の 2 つのケースを対比する測定を行い、理論計算との比較によって、100 アト秒スケールで原子の脱励起ダイナミクスについて解明しました。この新しい方法は今後さまざまな原子分子内殻過程への応用が期待できます。また、本研究を契機として、PCI 自体の研究にも新しい局面が切り開かれることが期待されます。

【用語解説】

PCI(衝突後相互作用:Post Collision Interaction): (光イオン化に関連した定義として) ; 速いオージェ電子が遅い光電子と相互作用することによって双方のエネルギーおよびピーク形状に変化が生ずる現象。今までは単純な一段階のオージェ過程において動径方向の相互作用のみを考慮した研究がなされてきた。本グループをはじめとする最近の動向として、多段階緩和過程および角度依存に興味もたれている。

ポンプ・プローブ: 二種類の短パルス光源を用い、最初のパルスによって励起を行い、そのあとの状態の時間依存を次のパルスによってプローブする実験手法。

アト秒: 1 秒の 1,000,000,000,000,000 分の 1 (10^{-18} 秒)。そして 1 フェムト秒は 1,000 アト秒。

【左図】 オージェ電子と光電子との間の PCI 過程の時間依存に関する模式図。

【右図】 PCI の効果によるオージェ電子エネルギーピーク位置の変化。1s 光イオン化（発光あり）の場合と 2p 光イオン化（発光なし）の場合の比較と理論計算。

