

Pressedienst Wissenschaft

5. März 2012

Femtosekunden-Pulse analysieren innere Dynamik einzelner Moleküle:

Gezielter Schuss auf einzelne Moleküle

Neue Lasersysteme liefern heute ultrakurze, hochintensive Lichtpulse, die es im Prinzip erlauben, Materie und ihre Dynamik auf atomaren Skalen abzubilden, bis hin zu einzelnen Viren oder Molekülen. Bisher aber war es nicht möglich, solche Pulse zielgenau auf nur ein einzelnes Molekül zu fokussieren. Ein Team von Physikern um Prof. Tobias Schätz (Max Planck Institut für Quantenoptik und Universität Freiburg) und Prof. Reinhard Kienberger (Technische Universität München, TUM) hat nun einen Ausweg aus diesem Dilemma gefunden. Die Physiker speichern die einzelnen Moleküle mit der bewährten Ionenfallentechnik und beschießen sie dann mit hochintensiven Femtosekunden-Pulsen. In der Online-Version des Fachmagazins *Nature Physics* stellen sie ihre Ergebnisse vor.

Das gängige Verfahren zur Untersuchung der Struktur biologischer Moleküle, beispielsweise von Proteinen, basiert auf der Streuung von Röntgenstrahlen an Kristallen. In vielen Fällen scheitert es daran, dass sich die Moleküle nur schwer oder gar nicht in eine kristalline Form bringen lassen. Für die Abbildung einzelner oder weniger Moleküle reichte bislang die Intensität der zur Verfügung stehenden Lichtquellen nicht aus. Denn bevor die Moleküle die erforderliche Zahl von rund 10^{13} Photonen aufgesammelt haben, sind sie infolge der dabei erhaltenen Strahlenschäden bereits zerstört. Überdies machen es lange Expositionsdauern unmöglich, die hohe Zeitauflösung zu erreichen, die notwendig ist, um kurzlebige Zwischenprodukte oder schnelle Strukturveränderungen zu analysieren.

Die neueste Generation von Röntgen-Femtosekunden-Lasern – wie sie auch im Projekt CALA (Centre for Advanced Laser Applications) realisiert werden soll, das gerade von TUM und LMU am Standort Garching aufgebaut wird – verspricht, diese Hürden zu überwinden. Denn sie liefert Lichtpulse, die mit einer Dauer von wenigen Femtosekunden (1 Femtosekunde ist ein Millionstel einer Milliardstelsekunde, 10^{-15} sec) kurz genug sind, um die Moleküle durch Photonenstreuung abzubilden, bevor Strahlenschäden „sichtbar“ werden können. Außerdem kann der Strahldurchmesser auf die Größe eines Moleküls, etwa ein Zehntel Mikrometer, fokussiert werden. Doch wie schafft man es, ein Molekül so genau zu positionieren, dass man den Laserpuls dann zielgenau darauf richten kann?

Technische Universität München Corporate Communications Center 80290 München www.tum.de			
Name	Funktion	Telefon	E-Mail
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49 89 289 22778	marsch@zv.tum.de
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49 89 289 10510	battenberg@zv.tum.de

Für die kontrollierte Speicherung einzelner elektrischer geladener Atome, d.h. Ionen, hat sich seit vielen Jahrzehnten die so genannte Ionenfalle bewährt. Dabei handelt es sich im Prinzip um ein evakuiertes Gefäß, in dem vier Elektroden so schnell (mit Radiofrequenzen, d.h. ca. 10^7 Hertz) zwischen Plus und Minus hin und her geschaltet werden, dass sie einzelne, auf extrem tiefe Temperaturen gekühlte Ionen im Zentrum der Falle halten. „Schwebend“ und gut isoliert von ihrer Umgebung können die Teilchen mehrere Stunden überleben. Füllt man in die Falle mehrere Ionen, dann bilden sich aufgrund ihrer wechselseitigen Abstoßung geordnete Strukturen aus. Obwohl der Begriff „kristalline Struktur“ gerechtfertigt ist, sind die Abstände rund 100 000 Mal größer als in Festkörperkristallen, wodurch sich einzelne Gitterplätze unterscheiden lassen.

Auf Moleküle ist diese Methode jedoch nicht so ohne weiteres anzuwenden, da sie sich mit den entsprechenden Methoden nicht direkt abkühlen lassen. Die Garching Physiker haben nun ein einzelnes Magnesiumhydrid-Molekül in einen bereits vorhandenen Ionenkristall eingebettet. In ihrem Experiment schalten sie dazu zwei Ionenfallen hintereinander. In der ersten Falle werden unter Einstrahlung von Licht aus Magnesiumdampf und Wasserstoff in einer photochemischen Reaktion Molekülionen erzeugt, die aus je einem Magnesium und einem Wasserstoffatom bestehen (MgH^+ , bzw. Magnesiumhydrid). Diese zweiatomigen Moleküle werden in eine zweite Ionenfalle überführt, in der sich bereits atomare Magnesiumionen in einem gegenseitigen Abstand von 10 Mikrometern zu einem Gitter angeordnet haben.

Unter dem Einfluss der kalten Atome kommt auch das einzelne Molekülion nahezu zum Stillstand und ersetzt eines der atomaren Ionen im Kristallgitter. Während sich jedoch die atomaren Ionen durch Fluoreszenzlicht zu erkennen geben, bleibt der Gitterplatz mit dem Molekül dunkel. Die Position des Moleküls kann jetzt durch Interpolation aus der Position seiner beiden leuchtenden Nachbarn auf weniger als ein Mikrometer genau abgeleitet werden. Damit sind die Voraussetzungen dafür geschaffen, das Teilchen zielgenau und mit nahezu hundertprozentiger Wahrscheinlichkeit mit Femtosekunden-Laserpulsen zu treffen.

Die Technologie zur Erzeugung dieser nur wenige Femtosekunden dauernden Laserpulse im UV-Bereich wurde von der Gruppe von Prof. Reinhard Kienberger von der TU München zur Verfügung gestellt. Da es bisher keinen Laser gibt, der im UV-Bereich solch kurzen Pulse produzieren könnte, erzeugten die Wissenschaftler die UV-Pulse mit ultrakurzen Laserpulsen im sichtbaren Bereich und nichtlinearer Frequenzkonversion in einem Gas.

Das Molekül, das sich zunächst in einem Grundzustand befindet, wird mit einem ersten Puls in einen Zustand angeregt, bei dem die beiden Atome mit einer Periode von 30

Femtosekunden gegeneinander schwingen. Ein zweiter Puls testet wenig später, in welcher Phase des Schwingungszyklus sich das Molekül gerade befindet. Am Umkehrpunkt, also nach 15 Femtosekunden, ist der Abstand zwischen den beiden Atomen am größten. Trifft der Abfrage-Puls genau zu diesem Zeitpunkt auf das Molekül, dann ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Bindung zwischen den zwei Atomen zerbricht, am größten. Infolgedessen verschwindet der dunkle Fleck im Ionenkristall.

„In unserem Experiment können wir die Moleküle im Takt der Laserpulse zur Verfügung stellen, d.h. rund 100 in der Sekunde“, erklärt Tobias Schätz, Leiter der Emmy-Noether Forschungsgruppe "Quantensimulationen" am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching und Leiter der Arbeitsgruppe Simulation von Quantensystemen in Ionenfallen an der Universität Freiburg. „Auf diese Weise kommt immer Nachschub für das bereits bestrahlte und letztendlich zerstörte Molekül. Indem wir bei den verschiedenen Molekülen die Verzögerungszeiten zwischen Anrege- und Abfrage-Puls variieren, können wir die Schwingungsdynamik des zweiatomigen Moleküls analysieren. Dies ist nur möglich, weil die Pulse mit einer Dauer von wenigen Femtosekunden wesentlich kürzer als die Schwingung des Moleküls sind.“

Bei den hier beschriebenen Experimenten wurde Laserpulse im UV-Bereich verwendet, um die Machbarkeit der Methode zu demonstrieren. Mit Röntgenpulsen ließe sie sich auch auf Biomoleküle anwenden, die in der Natur häufig in geladener Form vorkommen, und die mit standardisierten Verfahren erzeugt werden können. Die hohe Intensität und die kurze Dauer der Röntgen-Laserpulse sollten es dann erlauben, nützliche Informationen über die Struktur des einzelnen Moleküls zu erhalten, bevor es aufgrund der Strahlen geschädigt ist. Das Experiment könnte der Schlüssel werden, um in Zukunft einzelne komplex aufgebaute Moleküle mit der erforderlichen Genauigkeit und Effizienz zu untersuchen.

Die Arbeiten wurden unterstützt mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG), des Exzellenzclusters Munich-Centre for Advanced Photonics (MAP), der International Max Planck Research School on Advanced Photon Science und der EU (Forschungsprojekt Physics of Ion Coulomb Crystals, ERC-Grant).

Originalveröffentlichung:

Controlled delivery of single molecules into ultra-short laser pulses: a molecular conveyor belt

Steffen Kahra, Günther Leschhorn, Markus Kowalewski, Agustin Schiffrin, Elisabeth Bothschafter, Werner Fuß, Regina de Vivie-Riedle, Ralph Ernstorfer, Ferenc Krausz, Reinhard Kienberger, Tobias Schätz

Nature Physics, AOP, 5. Februar 2012, DOI 10.1038/NPHYS2214

<http://www.nature.com/nphys/journal/vaop/ncurrent/abs/nphys2214.html>

Quelle: Presseinformation des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik –
http://www.mpg.de/cms/mpq/news/press/12_02_05.html

Kontakt:

Prof. Dr. Reinhard Kienberger
Technische Universität München
Fakultät für Physik, E11
James Franck Str. 1, 85748 Garching, Germany
Tel.: +49 89 289 12837, Fax: +49 89 289 12838
E-Mail: reinhard.kienberger@tum.de
Internet: www.e11.physik.tu-muenchen.de/mitarbeiter/Kienberger
und
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Tel.: +49 89 32905 731, Fax: +49 89 32905 361
Internet: www.attoworld.de/kienberger-group

Die **Technische Universität München (TUM)** ist mit rund 460 Professorinnen und Professoren, 9.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern und 31.000 Studierenden eine der führenden technischen Universitäten Europas. Ihre Schwerpunktfelder sind die Ingenieurwissenschaften, Naturwissenschaften, Lebenswissenschaften, Medizin und Wirtschaftswissenschaften. Nach zahlreichen Auszeichnungen wurde sie 2006 vom Wissenschaftsrat und der Deutschen Forschungsgemeinschaft zur Exzellenzuniversität gewählt. Das weltweite Netzwerk der TUM umfasst auch eine Dependence mit einem Forschungscampus in Singapur. Die TUM ist dem Leitbild einer unternehmerischen Universität verpflichtet. Internet: www.tum.de

Technische Universität München Corporate Communications Center 80290 München www.tum.de			
Name	Funktion	Telefon	E-Mail
Dr. Ulrich Marsch	Sprecher des Präsidenten	+49 89 289 22778	marsch@zv.tum.de
Dr. Andreas Battenberg	PR-Referent Campus Garching	+49 89 289 10510	battenberg@zv.tum.de