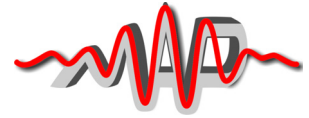




PRESSE-INFORMATION  
**Max-Planck-Institut für Quantenoptik**  
und  
**Munich Centre for Advanced Photonics**



Garching, 10.06.2010

### Ein Blick ins Innere von Molekülen

*Einem europäischen Forscher-Team ist es erstmals gelungen, Attosekunden-Laserpulse zur Beobachtung von Elektronen in Molekülen zu verwenden. Das berichtet das Fachblatt Nature in seiner Ausgabe vom 10. Juni 2010, DOI: 10.1038/nature09084.*

Um eine chemische Reaktion nicht nur beobachten, sondern wirklich verstehen zu können, müssen Wissenschaftler das Verhalten der Elektronen innerhalb von Molekülen kennen. Bislang war es technisch nicht möglich, Elektronen zu beobachten, weil sie sich unvorstellbar schnell bewegen. Nun ist dies einer Gruppe von europäischen Forschern mithilfe von Attosekunden-Laserpulsen gelungen.

Eine Attosekunde ist ein milliardstel einer milliardstel Sekunde. In einer Attosekunde legt Licht weniger als ein millionstel Millimeter zurück – das ist gerade mal der Weg von einem Ende eines kleineren Moleküls zum anderen. Zum Vergleich: In einer Sekunde kann Licht unseren Globus achtmal umrunden. Und genau darum betreiben die Physiker den immensen Aufwand, solche kurzen Laserblitze zu erzeugen: Sie können damit die Bewegung der Elektronen innerhalb eines Moleküls wie in einer Fotoserie „fotografieren“.

In dem europäischen Forscher-Team arbeitete Prof. Marc Vrakking, Direktor am Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI) in Berlin, zusammen mit Gruppen u.a. aus Mailand, Amsterdam, Lund (Schweden), Lyon und Madrid. Mit dabei sind auch Wissenschaftler um Dr. Matthias Kling vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching bei München.

Die Physiker haben zunächst das Wasserstoffmolekül ( $H_2$ ) untersucht – es ist das am einfachsten aufgebaute Molekül mit zwei Protonen und zwei Elektronen. Die Forscher wollten herausfinden, wie genau die Ionisation in einem Wasserstoffmolekül abläuft, bei der ein Elektron aus dem Molekül entfernt wird, und wie sich das verbliebene Elektron innerhalb des Moleküls hinterher neu anordnet. Marc Vrakking erklärt: „Wir konnten in unserem Experiment erstmals zeigen, dass wir mit einem Attosekunden-Laser tatsächlich in der Lage sind, die Bewegung von Elektronen im Molekül zu beobachten. Unser Experiment kann man sich so vorstellen: Zunächst haben wir ein Wasserstoffmolekül mit einem Attosekunden-Laserpuls bestrahlt. Dadurch wird ein Elektron aus dem Molekül herausgelöst – das Molekül wird ionisiert. Gleichzeitig haben wir das Molekül mit einem Infrarot-Laserstrahl in zwei Teile geteilt, wie mit einer winzigen Schere. Nun haben wir uns angesehen, wie sich die Ladung auf die zwei Fragmente verteilt – weil ein Elektron fehlt, ist nun ein Teil neutral und ein Teil positiv geladen. Damit wussten wir, wo sich das verbliebene Elektron befand, nämlich im neutralen Teil.“

Schon seit den 1980er Jahren untersuchen Wissenschaftler Moleküle und Atome mithilfe von Femtosekunden-Lasern – eine Femtosekunde ist ein millionstel einer milliardstel Sekunde, also um das tausendfache „langsamer“ als eine Attosekunde. Damit lassen sich Bewegungen von Atomen und Molekülen nachverfolgen, aber kaum die von Elektronen. 2001 gelang es Forschern erstmals, einen Laserblitz mit einer Länge von 250 Attosekunden zu erzeugen. Zunächst stand die technische Entwicklung der Attosekunden-Laser im Vordergrund sowie deren gezielte Steuerung und Messung. Erst allmählich beginnen Wissenschaftler, sie für naturwissenschaftliche Fragestellungen einzusetzen.

Obwohl die Experimente des europäischen Teams mit Attosekunden-Lasern die erhofften Ergebnisse brachten, gab es für die Wissenschaftler eine Überraschung: Um ihre Messungen noch besser interpretieren zu können, bezogen sie eine Gruppe von Theoretikern von der Universität Madrid in das Projekt ein. Die Arbeit der Spanier brachte völlig neue Erkenntnisse. Dr. Felipe Morales aus

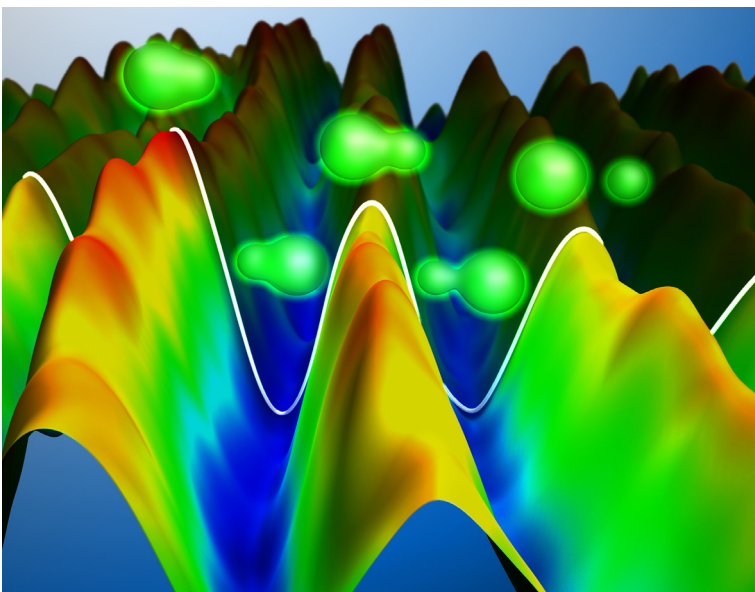
Madrid, der mittlerweile am MBI arbeitet, berichtet: „Wir sind mit unseren Rechnerkapazitäten fast an die Grenzen gestoßen, eineinhalb Millionen Stunden Computerrechenzeit haben wir aufgewendet.“ Diese Berechnungen zeigten, dass die Komplexität der Fragestellung weitaus größer ist, als vorher angenommen. „Es hat sich herausgestellt, dass auch doppelt angeregte Zustände, d.h. mit einer Anregung beider Elektronen des Wasserstoffmoleküls, eine wichtige Rolle spielen“, erläutert Matthias Kling. Vrakking beschreibt es so: „Wir haben das Problem nicht gelöst, wie wir zunächst dachten, wir haben lediglich eine Tür geöffnet. Aber das macht das ganze Projekt eigentlich noch viel wichtiger und interessanter.“

### Originalveröffentlichung:

G. Sansone, F. Kelkensberg, J. F. Pérez-Torres, F. Morales, M.F. Kling, W. Siu, O. Ghafur, P. Johnsson, M. Swoboda<sup>5</sup>, E. Benedetti<sup>1</sup>, F. Ferrari<sup>1</sup>, F. Lépine, J. L. Sanz-Vicario, S. Zherebtso, I. Znakovskaya, A. L'Huillier<sup>5</sup>, M. Yu. Ivano, M. Nisoli<sup>1</sup>, F. Martín, M.J.J. Vrakking.

### Electron localization following attosecond molecular photoionization.

Nature, 10. Juni 2010, DOI: 10.1038/nature09084



### Bildbeschreibung:

*Elektronendynamik in einem Wasserstoffmolekül nach der Photoionisation durch einen Attosekunden XUV-Lichtpuls. Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des verbliebenen Elektrons im Molekül (in grün skizziert) wird im Experiment gemessen und ist als Berglandschaft dargestellt (Berg und Tal bedeuten höhere Elektronendichte auf der linken bzw. rechten Seite des Moleküls). Mit zunehmender Zeit nach der Photoionisation wird der Bindungsabstand im Wasserstoff größer (nach rechts). Grafik: Christian Hackenberger*

### Weitere Informationen erhalten Sie von:

#### Dr. Matthias Kling

Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching  
Junior Research Group „Attosecond Imaging“  
Tel.: +49 89 32905-234  
Fax: +49 89 32905-649  
E-Mail: matthias.kling@mpq.mpg.de  
www.attoworld.de