

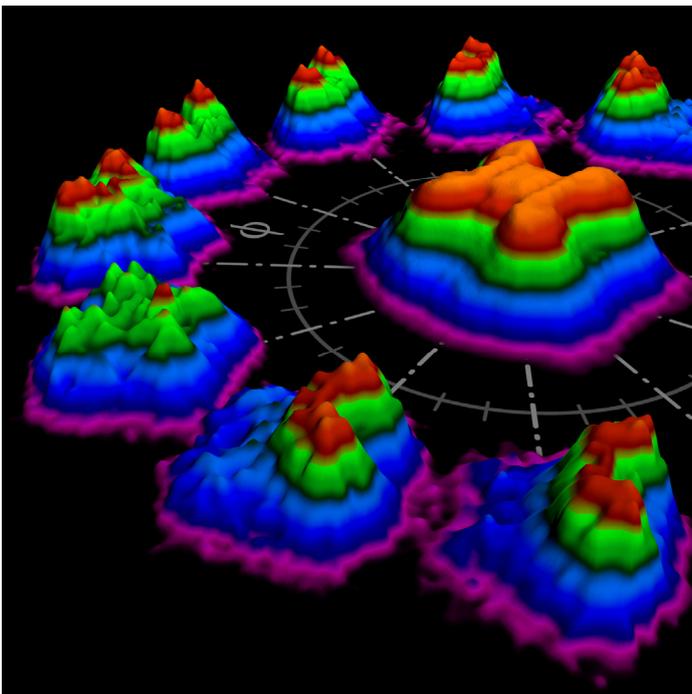
Garching, 8. Mai 2012

## Billardspiel im Atom

*Physiker am Max-Planck-Institut für Quantenoptik verfolgen die Doppelionisation von Argonatomen auf Attosekunden-Zeitskalen.*

Trifft ein intensiver Laserpuls auf ein Atom, kommt Bewegung in den Mikrokosmos. Nicht selten wird dann ein Elektron aus dem Atom herausgeschleudert und dieses ionisiert. Manchmal passiert aber auch noch mehr: nämlich eine so genannte Doppelionisation. Dann löst das Licht nicht nur ein sondern zwei Elektronen aus dem Atom heraus. Diesen Prozess haben jetzt Physiker des Labors für Attosekundenphysik am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching in enger Zusammenarbeit mit Kollegen des Max-Planck-Instituts für Kernphysik (Heidelberg) und einem internationalen Team erstmals mit Attosekunden-Genauigkeit verfolgt (eine Attosekunde ist ein Milliardstel einer Milliardstel Sekunde). Die Wissenschaftler berichten darüber in *Nature Communications* (8. Mai 2012).

Der Vorgang erinnert an ein Billardspiel, bei dem eine Kugel nach einem Zusammenstoß mit einer weiteren in Bewegung versetzt wird. Ähnlich wie ein solcher Zusammenstoß verläuft eine so genannte nicht-sequenzielle Doppelionisation. Dabei reißt starkes Laserlicht ein Elektron aus einem Atom heraus, beschleunigt es erstmal vom Atomrumpf weg und dann wieder auf den Atomrumpf zu. Bei dem Zusammenstoß überträgt das Elektron einen Teil seiner Bewegungsenergie auf ein zweites Elektron, das dabei in einen angeregten Zustand des Atomrumpfes versetzt und wenig später durch das elektrische Feld des Laserpulses aus dem Atomrumpf herausgelöst wird. Da ein Laserpuls üblicherweise viele optische Zyklen enthält, tragen zur nicht-sequenziellen Doppelionisation viele derartige Rekollisionen und Anregungen bei, was die Interpretation von Experimenten erschwert.

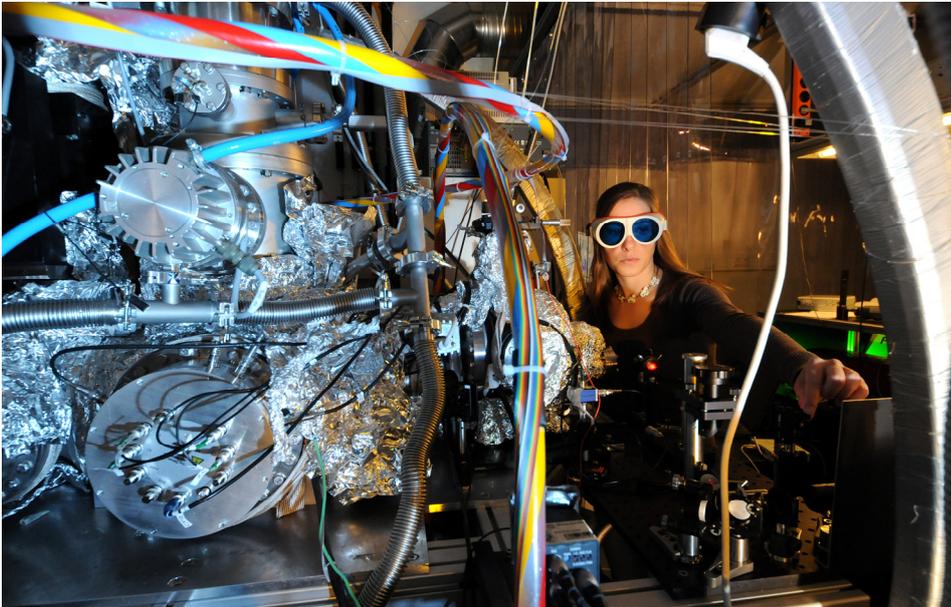


**Bild 1:** Künstlerische Darstellung der nicht-sequenziellen Doppelionisation. Die aus Messdaten gewonnenen 3D Reliefs auf dem Kreis stellen dar, wie sich die Geschwindigkeiten der beiden Elektronen für unterschiedliche Verläufe des elektrischen Feldes des anregenden Laserpulses verändern. Das mittige Relief ist die Summe dieser Einzelmessungen. Aus diesen Daten können die Forscher den genauen Verlauf der Doppelionisation ermitteln.

**Grafik: Christian Hackenberaer/LMU**

Jetzt ist es einem Team vom Labor für Attosekundenphysik (LAP) am Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) in enger Zusammenarbeit mit Kollegen des Max-Planck-Instituts für Kernphysik (Heidelberg) und internationalen Partnern gelungen, eine solche Doppelionisation auf einen einzelnen Kollisionsprozess zu reduzieren und diesen auf Attosekunden-Zeitskalen zu verfolgen.

Dazu schickten die Wissenschaftler einen nur vier Femtosekunden-langen Laserpuls auf Argonatome (eine Femtosekunde ist ein Millionstel einer Milliardstel Sekunde). Die Lichtwelle dieses Pulses verfügte über nicht viel mehr als einen Wellenberg und ein Wellental, also eine Schwingung. Durch das elektrische Feld des Lichts wurden die meisten Argonatome einfach ionisiert. Bei jedem tausendsten Atom fand jedoch die nicht-sequenzielle Doppelionisation statt: Das elektrische Feld des Pulses beschleunigte das erste Elektron. Nach kurzer Zeit jedoch drehte sich das Feld um und beschleunigte das Teilchen zurück in Richtung Atomrumpf bis es schließlich wieder mit diesem kollidierte. Dieser Vorgang dauerte rund 1,8 Femtosekunden. Bei der Rekollision übertrug das Elektron Energie auf den Rumpf und versetzte ein zweites Elektron in einen angeregten Zustand. Rund 400 Attosekunden verblieb das zweite Teilchen dort bis es schließlich, kurz vor dem zweiten Wellenberg des Laserpulses, ebenfalls aus dem Atomrumpf herausgelöst wurde. „Wir waren überrascht, dass das zweite Elektron schon 200 Attosekunden vor dem Maximum des zweiten Wellenbergs den Atomrumpf verließ“, erklärt Boris Bergues, Wissenschaftler im LAP-Team. Bis heute ging man davon aus, dass das Elektron den Atomrumpf erst beim Erreichen der Spitze des Wellenbergs verlässt.



**Bild 2:**  
*Eine Forscherin des Labors für Attosekundenphysik am Messapparat COLTRIMS (Cold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy). Mit diesem Aufbau werden die Experimente zur Doppelionisation durchgeführt.*  
**Foto: Thorsten Naeser/ LMU**

Mit ihren Beobachtungen haben die Garching Forscher einen wichtigen Einblick in dynamische Prozesse gewonnen, an denen mehrere Elektronen beteiligt sind. Diese Attosekunden-Dynamik ist vor allem für das Verständnis der Wechselwirkung zwischen Licht und Materie wichtig. Auf Moleküle angewandt könnte die neue Beobachtungstechnik rund um das „Billardspiel“ im Mikrokosmos dazu beitragen, einen tieferen Einblick in das Zusammenspiel von Elektronen bei chemischen Reaktionen zu gewinnen.

**Thorsten Naeser**

### **Originalveröffentlichung:**

Boris Bergues, Matthias Kübel, Nora G. Johnson, Bettina Fischer, Nicolas Camus, Kelsie J. Betsch, Oliver Herrwerth, Arne Senftleben, A. Max Saylor, Tim Rathje, Thomas Pfeifer, Itzik Ben-Itzhak, Robert R. Jones, Gerhard G. Paulus, Ferenc Krausz, Robert Moshhammer, Joachim Ullrich, Matthias F. Kling

**Attosecond Tracing of Correlated Electron-Emission in Non-Sequential Double Ionization**  
Nature Communications, 8. Mai 2012

**Weitere Informationen erhalten Sie von:**

Dr. Boris Bergues  
Labor für Attosekundenphysik  
Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Hans-Kopfermann-Str. 1  
D-85748 Garching  
Tel.: +49 (0) 89 / 32905 -323  
Email: boris.bergues@mpq.mpg.de

Dr. Matthias Kling  
Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Hans-Kopfermann-Str. 1  
D-85748 Garching  
Tel.: +49 (0) 89 / 32905 -234  
E-Mail: matthias.kling@mpq.mpg.de  
<http://www.attoworld.de/kling-group/>

Priv.-Doz. Dr. Robert Moshhammer  
Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg  
Tel.: +49 (0) 6221 / 516 -461  
E-Mail: robert.moshhammer@mpi-hd.mpg.de