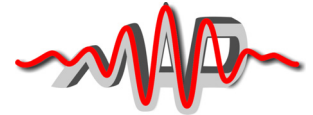




PRESSE-INFORMATION
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
und
Munich-Centre for Advanced Photonics



Garching, 10.07.2013

Filme statt nur Schnappschüsse

Physiker der Ludwig-Maximilians-Universität und des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik entwickeln einen Laseraufbau, der es ermöglicht, Elektronenbewegungen zu filmen.

Elektronen sind flink; so flink, dass es schwer ist, sie zu fotografieren. Das Problem hat man zwar mittlerweile im Griff, doch erhält man bis heute nur einzelne Schnappschüsse von den Elementarteilchen. Wie und wohin sich Elektronen über einen zusammenhängenden Zeitraum orientieren, ist bis heute nicht zu beobachten. Jetzt hat ein Team vom Labor für Attosekundenphysik (LAP) an der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München und dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) in Garching in Zusammenarbeit mit Forschern der Friedrich-Schiller-Universität Jena eine Laserkonfiguration entwickelt, mit deren Hilfe es möglich wird, die Attosekunden-schnellen, quantenmechanischen Bewegungen von Elektronen wie in einem Film zu verfolgen (eine Attosekunde ist ein Milliardstel einer milliardstel Sekunde). Die Forscher haben mit einem Hochleistungslaser intensive und stabile Attosekunden-Pulszüge erzeugt, die sich pro Sekunde 78 Millionen Mal wiederholten. Jeder Pulszug besteht dabei aus rund 20 einzelnen Attosekunden-Lichtblitzen. Mit dieser hohen Frequenz lassen sich Elektronen, deren quantenmechanische Zustände sich sehr schnell ändern, effizienter als bisher aufzeichnen. Damit steht die Beobachtung dieser Elementarteilchen vor einer neuen Ära. (Nature Photonics, 7. Juli, 2013)

Eine besondere Spielart der Fotografie sind Stroboskopaufnahmen von bewegten Objekten. Dabei löst der Fotograf mehrmals einen Blitz aus, während er ein Bild nur einmal belichtet. Der Effekt ist spektakulär: Das Objekt wird in einem einzigen Bild mehrmals abgebildet, während es sich von einem Ort zum anderen bewegt.

In der Ultrakurzzeitphysik schaut man etwas neidisch auf solche konventionellen Stroboskopaufnahmen. Denn hier ist es bislang nur möglich, ultraschnelle Teilchen, wie Elektronen, in Einzelbildern festzuhalten. Man erhält also keinen Ablauf einer kompletten Bewegung. Die quantenmechanischen Vorgänge sind einfach zu schnell um scharfe Schnappschüsse zu erhalten. Elektronenkonfigurationen ändern sich innerhalb von Attosekunden. In der Ultrakurzzeitphysik fotografiert man die Teilchen mit Lichtblitzen, die ebenfalls nur Attosekunden dauern. Die Lichtblitze werden über Laserpulse produziert.

Mit einer neuen Technik, die ein Team von Laserphysikern an der Ludwig-Maximilians-Universität München und dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching in Zusammenarbeit mit Forschern der Friedrich-Schiller-Universität Jena entwickelt hat, könnte es jetzt möglich werden, die Bewegungen von Quantenteilchen detaillierter und zeitaufgelöst aufzuzeichnen, ähnlich wie bei konventionellen Stroboskopaufnahmen.

Die Physiker haben es geschafft mit Hilfe eines Hochleistungs-Ytterbium-Faserlasers 78 Millionen Attosekunden-Pulszüge pro Sekunde (78MHz) zu erzeugen. Jeder Pulszug besteht aus ca. 20 einzelnen Attosekunden-Lichtblitzen. Die Laserpulse, aus denen die Attosekunden-Lichtblitze erzeugt wurden, wurden zuerst in einem optischen Resonator kohärent überlagert. In dem optischen Resonator wurden die Laserpulse zwischen Spiegeln hin-und hergeworfen. Jedes Mal wenn ein Wellenzug einen bestimmten Spiegel traf, wurde dieser synchron verstärkt, indem man einen weiteren Puls von außen mit seinen Wellen exakt überlagerte. Damit haben die Forscher, die Intensität der

Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Dr. Olivia Meyer-Streng
Tel.: +49-89-32905-213
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de
Hans-Kopfermann-Str. 1, D-85748 Garching

Munich-Centre for Advanced Photonics
Public Outreach
Thorsten Naeser
Tel.: +49-89-32905-124
E-Mail: thorsten.naeser@mpq.mpg.de

rund 50 Femtosekunden langen Laserpulse um das 250fache erhöht und zugleich deren Stabilität verbessert (eine Femtosekunde ist ein Millionstel einer milliardstel Sekunde).

Im Experiment ließen die Forscher die Laserpulse auf ein Plasma aus Argon-Edelgasatomen treffen. Die Elektronen der Argonatome nahmen die Lichtenergie auf und gaben sie anschließend wieder ab in Form von Attosekunden-Lichtblitzen. Durch eine raffinierte Methode wurden die Pulse aus dem Resonator ausgekoppelt: Die Forscher filterten sie durch ein winziges Loch in einem Spiegel heraus. Das Loch war gerade so groß, dass die Ausbreitung der Attosekunden-Lichtblitze kaum gestört war.

Auf diese Weise konnten ebenso so viele Attosekunden-Pulszüge pro Sekunde erzeugt wie Laserpulse aus dem Ytterbium-Faserlaser emittiert werden, also 78 Millionen pro Sekunde. Diese Attosekunden-Lichtblitze befinden sich im extremen, ultravioletten Spektrum des Lichts (Wellenlänge zwischen 10 und 100 Nanometer). Zudem bewegen sich die Lichtteilchen in den Blitzen kohärent, also in einem einheitlichen Takt und verfügen über eine bisher bei solchen Repetitionsraten noch nicht erreichte Energie (100eV).

All diese Faktoren haben das Potential, die Erforschung des Mikrokosmos mit Hilfe von Lichtteilchen (Photonen) zu revolutionieren. Denn erstmals wird es damit möglich, den Weg von Elektronen, ähnlich wie bei Stroboskopaufnahmen, zu verfolgen. Dies wird möglich durch die extrem schnelle Datenaufnahme unter stabilen Bedingungen, die sich aus den hohen Repetitionsraten ergibt.

Den eingeschlagenen Weg wollen die Wissenschaftler weiterführen, hin zu noch höheren Leistungen der Laserpulse, deren Dauer zudem verkürzt werden soll. Damit sollen dann isolierte Attosekundenblitze statt der Pulszüge erzeugt werden. Desweiteren soll die Energie der Photonen in den aus den Laserpulsen produzierten Attosekunden-Lichtblitzen gesteigert werden bis ins sogenannte Wasserfenster (auf 280 eV). Das würde dann erstmals die Mikroskopie von biologischen Proben mit hoher Zeitauflösung, also in Filmen, ermöglichen.

Thorsten Naeser

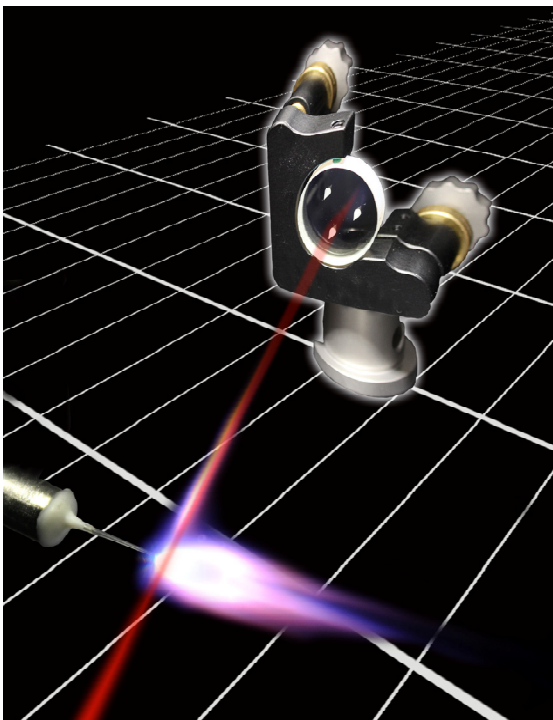


Abb.: Künstlerischer Blick auf das Experiment: Ein Laserpuls (rot von rechts unten kommend) trifft auf ein Plasma aus Argon-Edelgasatomen. Dort nehmen die Atome die Lichtenergie auf und geben sie anschließend wieder ab in Form von Attosekunden-Pulszügen, die sich pro Sekunde 78 Millionen Mal wiederholen. Ein spezieller Spiegel (links oben) filtert über eine kleine Öffnung diese extrem ultraviolette Strahlung heraus. Mit der hohen Frequenz an Attosekunden-Pulszügen wird es möglich, Filme der ultraschnellen quantenmechanischen Veränderungen von Elektronen in Atomen oder Molekülen aufzunehmen.

Grafik: Thorsten Naeser

Infos unter www.attoworld.de

Originalpublikation:

I. Pupeza, S. Holzberger, T. Eidam, H. Carstens, D. Esser, J. Weitenberg, P. Rußbüldt, J. Rauschenberger, J. Limpert, Th. Udem, A. Tünnermann, T.W. Hänsch, A. Apolonski, F. Krausz und E. Fill

Compact high-repetition-rate source of coherent 100 eV radiation

Nature Photonics, 7. Juli 2013, DOI:[10.1038/nphoton.2013.156](https://doi.org/10.1038/nphoton.2013.156)

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Dr. Ioachim Pupeza
Max-Planck-Institut für Quantenoptik
Hans-Kopfermann-Str. 1, 85748 Garching
Tel.: +49 (0)89 289 14637
ioachim.pupeza@mpq.mpg.de

Dr. Ernst Fill
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Am Coulombwall 1, 85748 Garching
Tel.: +49 (0)89 289 14110
E-Mail: ernst.fill@mpq.mpg.de

Simon Holzberger
Ludwig-Maximilians-Universität München,
Am Coulombwall 1, 85748 Garching
Tel.: +49 (0)89 289 14095
simon.holzberger@physik.uni-muenchen.de