

Licht im Mixer

Münchener Physiker erzeugen weiße Laserpulse und modellieren deren elektromagnetische Felder erstmals auf der Subzyklus-Zeitskala

Im Mikrokosmos bewegen sich Elektronen mit atemberaubenden Geschwindigkeiten und auf die Teilchen wirken zudem enorme Kräfte. Um Elektronen zu beobachten, sind ultrakurze Lichtpulse nötig, um sie gar zu kontrollieren, müssen die Forscher zudem die Pulsstruktur manipulieren. Genau dies ist jetzt erstmals einem Team von Physikern um Eleftherios Goulielmakis und Ferenc Krausz vom Labor für Attosekundenphysik am Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) und der Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU) in Garching gelungen. Beteiligt an dem Projekt waren Wissenschaftler vom Center for Free-Electron Laser Science am Desy in Hamburg und der König-Saud-Universität in Riad.

Die Wissenschaftler haben dazu in die Wellenform weißer Laserpulse kleinste Abweichungen des typischen Schwingungsverhaltens eingebaut. Dabei verkürzten sie unter anderem die Dauer der Pulse soweit, dass sie aus weniger als einer kompletten Schwingung bestehen. Damit haben die Wissenschaftler erstmals isolierte Subzykluspulse im sichtbaren Spektrum des Lichts erzeugt. Die Technik verspricht eine präzise Steuerung von Elektronenbewegungen. Auch die Beobachtung inneratomarer Mechanismen wird mit dem neuen Werkzeug genauer, da sie eine zeitlich exakte Anregung der Prozesse erlaubt.

Bewegungen von Elektronen gehen innerhalb von Attosekunden über die Bühne.

Aufgrund der schnellen Schwingung seines elektromagnetischen Feldes wirkt Licht wie eine Art Pinzette auf Elektronen und deren Bewegung und beeinflusst so das gegenseitige Zusammenspiel. Die Schwingungsdauer von Licht moderner Laserquellen beläuft sich auf rund 2,6 Femtosekunden, sein Feld muss deshalb auf der Zeitskala eines Subzyklus kontrolliert werden. Nun ist es dem internationalen Team am MPQ gelungen, diesem hochgesteckten Ziel einen Schritt näher zu kommen.

Dazu verwendeten die Physiker weißes Laserlicht mit Anteilen vom nahen UV über den sichtbaren bis hin zum nahen Infrarot. Sie erzeugten erstmals diese Lichtpulse und sendeten sie anschließend in einen neu entwickelten Lichtfeldsynthesator. Der Apparat spaltet erst das einfallende weiße Laserlicht in einen roten, gelben und blauen Farbanteil auf. Anschließend setzen die Wissenschaftler die einzelnen farbigen Bestandteile des Lichts wieder nach Belieben zusammen.

Mit dieser Technik ist es den Wissenschaftlern gelungen, völlig neue Wellenverläufe in den einzelnen Pulsen zu generieren. Zudem haben sie die mit 2,1 Femtosekunden Dauer bis heute kürzesten Pulse im sichtbaren Bereich des Lichts erzeugt. Diese sind intensiver als bisherige Femtosekunden-Lichtpulse im sichtbaren Spektrum, denn nun ballt sich die gesamte Energie des elektromagnetischen Feldes in einem kleinen zeitlichen Fenster.



ABB.: Ein Lichtwellensynthesator spaltet einfallendes weißes Laserlicht in drei Farbkanäle auf und modifiziert es anschließend. Das Zusammensetzen erzeugt Laserpulse mit komplexen, aber fein justierbaren Wellenverläufen.

Bild: T. Naeser, MPQ

Damit sind die Wissenschaftler der Kontrolle des Mikrokosmos einen großen Schritt näher gekommen und haben die neue Technik bereits angewandt: Sie schossen die Lichtpulse auf Kryptonatome. Die Lichtpulse schlugen aus den Atomen das äußerste Elektron in weniger als 700 Attosekunden heraus. Dies ist der schnellste elektronische Vorgang, der bis heute mit sichtbarem Licht gelang. Ähnliche Prozesse lassen sich bestimmt auch in komplexeren Strukturen wie Molekülen, Festkörpern oder Nanopartikeln erzielen. Das Team von Goulielmakis erkundet derzeit die Prinzipien der elektronischen Steuerung in diesen extremen Bereichen.

www.attoworld.de

Referenzen

- A. Wirth et al.: Synthesized Light Transients, Science, online 8. September 2011, DOI: 10.1126/science.1210268

Auf Katzenpfoten zu neuen Wegen in der Spektroskopie

Eine Theorie der Quanten-Laserspektroskopie verspricht neue Anwendungen auf der Nanoskala

Wissenschaftler von der Philipps-Universität Marburg sowie der University of Colorado haben einen neuen Theorierahmen vorgestellt, der die Laserspektroskopie revolutionieren könnte. Hier findet die Ausnutzung von quantenoptischen Charakteristika des Lichts bislang eine enge Grenze, die durch die Komplexität der betrachteten Objekte gezogen wird. Die Forschung beschränkt sich daher auf vergleichsweise einfache Systeme wie einzelne Atome.

Der Ansatz der Physiker aus Deutschland und den USA soll es nunmehr ermöglichen, quantenoptische Untersuchungen auch an Vielteilchen-Systemen durchzuführen, etwa an Halbleitern und Molekülen. Die Wissen-

schaftler analysieren in ihrem Aufsatz experimentelle Ergebnisse der Laserspektroskopie und kombinieren die Daten mit einer neuentwickelten Theorie. Das von ihnen vorgeschlagene Schema projiziert eine große Zahl klassischer Messungen auf das Verhalten eines mathematisch präzise definierten Quantenlasers. Die Ergebnisse klassischer Anregungsexperimente enthalten bereits alle Informationen, um auch die quantenoptischen Zustände des Systems zu charakterisieren. Die Arbeit der Theoretiker demonstriert, wie sich diese „verborgenen“ Informationen extrahieren lassen.

Auch wenn ihre Analyse sich auf Halbleiter fokussiert, seien die künftigen Anwen-

dungen keineswegs darauf beschränkt. Im Prinzip könne mit der Methode jedes Vielteilchen-Objekt untersucht werden, behaupten die Forscher. Dabei könne man auf lange etablierte experimentelle Vorgehensweisen der hochpräzisen Laserspektroskopie zurückgreifen.

www.uni-marburg.de

Referenzen

- M. Kira et al.: Quantum spectroscopy with Schrödinger cat states, Nat. Phys. online 18. September 2011, DOI: 10.1038/nphys2091