

Forscher machen erstmals Lichtwellen sichtbar

Deutsch-österreichischem Forscherteam gelingt erste Messung der hyperschnellen Schwingungen des sichtbaren Lichts mit Hilfe eines „Attosekunden-Oszilloskops“

Unser Auge kann zwar die Intensität des Lichtes, nicht aber die Lichtwellen selbst wahrnehmen, weil diese viel zu schnell, etwa 1 Billionen Mal pro Sekunde schwingt. Einem internationalen Forscherteam der Technischen Universität Wien, des Max-Planck-Institutes für Quantenoptik und der Universität Bielefeld ist es jetzt unter Leitung von Prof. Ferenc Krausz gelungen, das instantane elektrische Feld von rotem Licht mit einer Auflösung von 100 Attosekunden aufzuzeichnen (Science, 27. August 2004). Mit Hilfe ultraschneller Röntgenpulse gelang dem deutsch-österreichischen Team erstmals, das Feld des Lichts - ähnlich wie Töne in Sinusschwingungen - direkt sichtbar zu machen und die bis dato schnellste Messung durchzuführen.

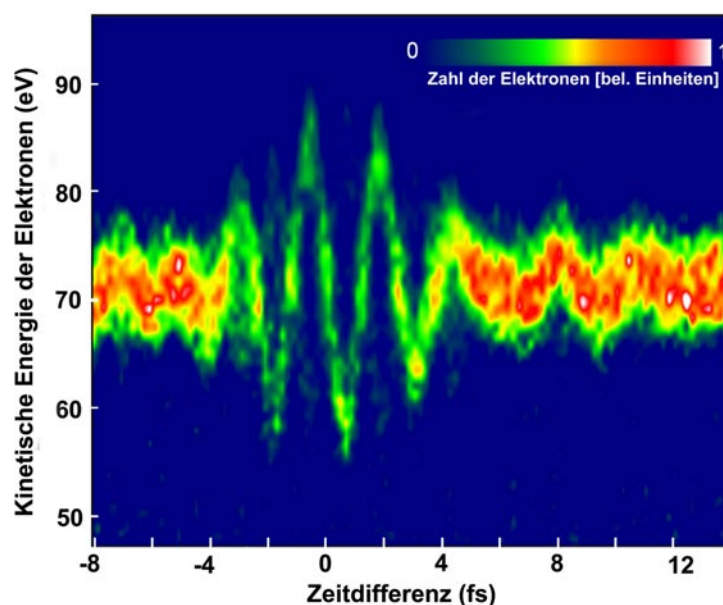


Abbildung 1:

Energieänderung (gemessen in der Einheit eV) der durch einen Röntgenpuls zu verschiedenen Zeiten in der Lichtwelle des roten Laserpulses (gemessen in der Einheit fs) erzeugten Elektronen.

Bild: MPI für Quantenoptik / TU Wien

Seit den berühmten Experimenten von Heinrich Hertz Ende des 19. Jahrhunderts ist bekannt, dass Licht - ebenso wie Radiowellen oder Mikrowellen - eine Welle ist, die aus elektrischen und magnetischen Feldern besteht. Der einzige Unterschied ist die Anzahl der Schwingungen dieser Felder pro Sekunde. In Radio- und Mikrowellen ändern diese Schwingungen ihre Richtung ungefähr millionen- bis billionenfach pro Sekunde. Die Änderung des Feldes dieser Wellen kann man durch Wandlung in elektrischen Strom und Darstellung dieses Stromes mit speziellen elektronischen Geräten, so genannten Oszilloskopen, messen. Doch das Feld von Lichtwellen schwingt im Gegensatz dazu ungefähr 1 Billionen, also 1.000 000 000 000 mal pro Sekunde, so dass bei der Schwingung der Feldstärke zwischen einem Minimum und einem Maximum nur ca. eine Femtosekunde (1 Femtosekunde ist eine Billionstel-Sekunde) vergeht. Dies ist einige zehntausendmal schneller also man mit heute verfügbaren Geräten messen kann. Um die Änderung des Lichtfeldes darstellen zu können, bedarf es also eines Oszilloskops mit einer Auflösung von nur wenigen hundert Attosekunden (1 Attosekunde ist eine Tausendstel Femtosekunde).

Eine solche Messanordnung haben nun die Forscher um Ferenc Krausz verwirklicht. Möglich wurde dies durch den Einsatz eines nur 250 Attosekunden langen Pulses weicher Röntgenstrahlung, der vom gleichen Forscherteam erst wenige Monate zuvor reproduzierbar erzeugt wurde [1]. Dieser extrem kurze und hochenergetische Röntgenpuls schlägt Elektronen aus Atomen heraus, mit deren Hilfe die elektrische Feldstärke eines aus nur wenigen Schwingungszyklen bestehenden roten Laserlichtes gemessen wird. Das elektrische

Feld des roten Lichtes bremst oder beschleunigt die Elektronen, die durch den Röntgenpuls mit einer Zeitgenauigkeit von 100 Attosekunden gegenüber der Lichtwelle freigesetzt werden. Misst man die Änderung der Energie der Elektronen (angeführt in der Einheit Elektronenvolt, eV) als Funktion der Zeitdifferenz (angeführt in der Einheit Femtosekunden, fs) zwischen dem Röntgenpuls und der Laser-Lichtwelle, so sieht man deutlich das Anwachsen und Abklingen des Pulses und dessen Oszillationen mit einer Periode von 2.5 Femtosekunden, entsprechend der Periode von rotem Licht mit einer Wellenlänge von 750 Nanometer.

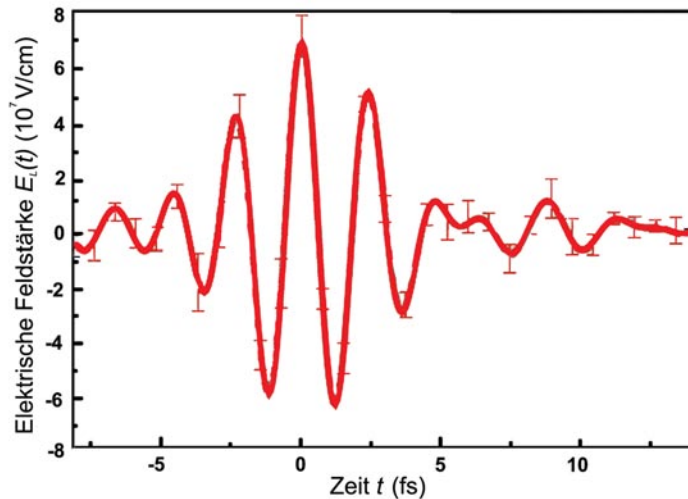


Abbildung 2:

Entstehen und Verschwinden des elektrischen Feldes des 4,3 Femtosekunden langen Pulses aus rotem Licht (Wellenlänge ~ 750 Nanometer), aufgezeichnet mit dem Attosekunden-Oszilloskop.

Bild: MPI für Quantenoptik / TU Wien

Aus der gemessenen Energieänderung lässt sich die instantane Stärke und Richtung des elektrischen Feldes direkt bestimmen (Abb. 2). Die rote Kurve zeigt das elektrische Feld des nur wenige Femtosekunden langen roten Lichtpulses, aufgenommen mit einer Messeinrichtung, die man als erstes Attosekunden-Oszilloskop bezeichnen kann. Diese neue Technik erlaubt die direkte und genaue Vermessung der Feldstärke von Lichtpulsen mit sehr breitem Spektrum, bestehend aus vielen verschiedenen Farben. Mit der Fähigkeit, den zeitlichen Verlauf der elektrischen Feldstärke aufzulösen, erhält man die Möglichkeit ultrakurze Lichtblitze mit nahezu beliebiger Wellenform reproduzierbar zu erzeugen. Für solche synthetisierten Lichtwellen sind zahlreiche interessante Anwendungen in Aussicht, wie die gezielte Steuerung atomarer und molekularer Prozesse, die Entwicklung molekularer Elektronik oder von Röntgenlaserquellen.

Verwandte Links:

[1] MPQ-Presseinformation „Die schnellste Stoppuhr der Welt“ vom 25. Februar 2004

Originalveröffentlichung:

E. Goulielmakis, M. Uiberacker, R. Kienberger, A. Baltuska, V. Yakovlev, A. Scrinzi, Th. Westerwalbesloh, U. Kleineberg, U. Heinzmann, M. Drescher, and F. Krausz

Direct Measurement of Light Waves

Science **305**, 1267; 27. August 2004

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Prof. Ferenc Krausz
 Max-Planck-Institut für Quantenoptik
 Hans-Kopfermann-Strasse 1
 D-85748 Garching, Germany
 Tel. : 089 32905-602
 Fax: 089 32905-314
 E-mail: ferenc.krausz@mpq.mpg.de