

Attosekundenphysik: Elektronen und Lichtwellen unter Kontrolle

Ferenc Krausz

*Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching,
Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany*

Fundamentale Vorgänge in Atomen, Molekülen und Festkörpern werden durch die Bewegung von Elektronen in und zwischen Atomen herbeigeführt. Diese Elektronenbewegungen laufen sich in der Regel ausserordentlich schnell, auf einer Attosekunden-Zeitskala (1 Attosekunde [as] = 10^{-18} Sekunde), ab. Jüngste Entwicklungen in der Ultrakurzzeitmesstechnik haben die Tür zur Echtzeitbeobachtung und -kontrolle dieser Vorgänge aufgestoßen [1,2].

Der Schlüssel zu direkten Messungen im Attosekundenbereich ist die vollständige Kontrolle des elektrischen Feldes von sichtbarem Licht. Dieses Feld ändert seine Stärke und Richtung innerhalb von weniger als eine Femtosekunde und bietet sich somit zur Steuerung von Elektronenbewegungen auf der elektronischen Zeitskala an. Intensive Laserpulse mit einer kontrollierten Wellenform des Lichtfeldes [3] erlauben erstmals die Steuerung von Elektronen in atomaren Dimensionen und dadurch die reproduzierbare Erzeugung und Messung von einzelnen Attosekundenpulsen [4]. Mit den neuen Attosekunden-Werkzeugen und -Techniken konnte die Wellenform von Licht mittels eines Attosekunden-Oszillographes [5] gemessen, sowie die Bewegung von Elektronen innerhalb von Atomen [6,7], Molekülen [8] und Festkörpern [9] in Echtzeit beobachtet und gesteuert werden.

Die Echtzeitmessung und Kontrolle von Elektronenbewegungen mittels kontrollierten Lichtwellen, die wir als *Lichtwellenelektronik* bezeichnen [11] könnten u.a. den Weg zur Entwicklung kompakter, brillianter Röntgenquellen ebnen, sowie zum besseren Verständnis der mikroskopischen Ursachen von Krankheiten auf der fundamentalen Ebene der Elektronenbewegungen und zur Identifizierung effektiverer Heilmethoden führen. Wenn eines Tages in kondensierter Phase – in Festkörpern oder auf Oberflächen – implementiert, kann Lichtwellenelektronik Schlüsselbeiträge zur Beschleunigung von elektronenbasierten Informationstechnologien an ihre ultimativen Grenzen liefern [12].

[1] M. Hentschel *et al.*, *Nature* **414**, 509 (2001); [2] R. Kienberger *et al.*, *Science* **291**, 1923 (2002); [3] A. Baltuska *et al.*, *Nature* **421**, 611 (2003); [4] R. Kienberger *et al.*, *Nature* **427**, 817 (2004); [5] E. Goulielmakis *et al.*, *Science* **305**, 1267 (2004); [6] M. Drescher *et al.*, *Nature* **419**, 803 (2002). [7] M. Uiberacker *et al.*, *Nature* **446**, 627 (2007); [8] M. Kling *et al.*, *Science* **312**, 246 (2006); [9] A. Cavalieri *et al.*, *Nature* **449**, 1029 (2007); [11] E. Goulielmakis *et al.*, *Science* **317**, 769 (2007); *ibid.* **320**, 1614 (2008); [12] F. Krausz, M. Ivanov, "Attosecond Physics," *Rev. Mod. Phys.* **81**, 163 (2009).