

WISSEN KOMPAKT

LASERTECHNIK

Die Zeitspalter

Fotografen und Forscher haben die Sekunde in immer winzigere Bruchstücke zerteilt – und damit unseren Blick auf die Wirklichkeit verändert. Der kleinste heute messbare Impuls ist die Attosekunde. Die damit verbundene Technik dient dazu, das Innenleben von Atomen zu ergründen

Die Reise ins Innerste der Zeit begann im Jahre 1878 mit einem Rennpferd: Der amerikanische Fotograf Eadweard Muybridge hatte ein Kamerasystem aus zwölf Apparaten konstruiert, mit dem er binnen einer halben Sekunde entsprechend viele Aufnahmen des Tieres im leichten Trab machen konnte. Damit ließ sich bildlich nachweisen, dass es bei jedem Trabschritt einen kurzen Moment gibt, in dem alle vier Pferdehufe gleichzeitig in der Luft sind. Züchter, Tierforscher und Bildhauer diskutierten die neue Erkenntnis – aber kaum jemand erkannte die Pionierleistung des Fotografen: Er hat

te erstmals eine Sekunde in mehrere sichtbare Teile aufgespalten.

Seither haben Menschen mithilfe der Technik die Zeit in immer kleinere Splitter zerlegt – und dabei Vorgänge jenseits unserer Wahrnehmungsfähigkeit ergründet. Mit Kameraverschlusszeiten von Tausendstelsekunden lassen sich Tennisbälle im Flug erfassen. Um mit einer Pistole abgefeuerte Kugeln ablichten zu können, stieß der Fotograf Harold Edgerton bereits in den 1930er Jahren in den Bereich der Millionstelsekunden vor (Mikrosekunden).

1999 erhielt der Ägypter Ahmed Zewail den Chemie-Nobelpreis für seine Experimente in einem völlig neuen Forschungsfeld: der Femtochemie, die ihren Namen der Femtosekunde verdankt (die entspricht 0,000 000 000 000 001 Sekunden). Mit Laserpulsen von einigen Femtosekunden Dauer konnte Zewail während einer chemischen Reaktion Moleküle mehrfach anblitzen und das rasend schnelle Entstehen und Aufbrechen molekularer Verbindungen in kleine Schritte gliedern. Mit dieser Technik wollen For-

scher jetzt den molekularen Vorgängen bei der Photosynthese genauer auf die Spur kommen. Bislang konnten sie die beteiligten Atome immer nur vor und nach der blitzschnellen Umwandlung von Sonnenlicht in chemische Energie beobachten.

Femtosekundenlaser ermöglichen es, bei der Herstellung von Einspritzdüsen für Automotoren Löcher von ungekannter Präzision zu bohren: Der Laser schießt Lichtpulse so kurz und geballt ab, dass der Rand der Bohrung sich nicht erhitzen und ausfransen kann – weil dafür keine Zeit bleibt.

Den Weltrekord in der Produktion zeitlicher Winzigkeiten hält Ferenc Krausz, Direktor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching. Der gebürtige Ungar hat 2001 die Femtosekunde unterboten: mit einem Blitz aus weicher Röntgenstrahlung. Seither gilt die so genannte Attosekunde als Maß für die kürzeste technisch handhabbare Zeitspanne.

Eine Attosekunde ist der milliardste Teil einer Milliardstelsekunde. Setzt man sie ins Verhältnis zu einer ganzen Sekunde, dann beginnt sie erst 18 Dezimalstellen hinter dem Komma. Hundert Attosekunden verhalten sich zur Dauer eines Herzschlags etwa so wie eine Minute zum Alter des Universums. Wenn ein Skifahrer ein Rennen mit dem Vorsprung einer Attosekunde gewinnen würde, dann hätte er seinen Gegner nur um den Bruchteil des Durchmessers eines Atomkerns hinter sich gelassen. Und Licht, das in einer einzigen Sekunde 7,5-mal um die Erde rasen kann, schafft es in einer Attosekunde gerade mal vom einen Ende eines Wassermoleküls zum anderen.

Relevant wird dieser Zeitimpuls erst, wenn Wissenschaftler nicht mehr die Bewegung ganzer Atome ins Visier nehmen, sondern Vorgänge in deren Innerem ergründen wollen. Denn dort umschwirren Elektronen den Atomkern so rasant, dass Veränderungen ihrer Flugbahn binnen einiger hundert Attosekunden vonstatten gehen. Diese Vorgänge bilden die Grundlage aller chemischen Verbindungen.

Krausz und seine Kollegen beschreiben bei ihrem Verfahren eine Wolke aus Neon-Atomen mit einem Laser-

blitz von sieben Femtosekunden Dauer. Dabei werden Elektronen von den Neon-Atomkernen abgerissen und sofort wieder zurückgeschleudert. Bei ihrem Rückprall auf das Mutteratom entstehen extrem gleichmäßig schwingende Lichtwellen im Röntgen- und UV-Bereich. Mit einer raffinierten Spiegeltechnik filtern die Forscher aus dieser Strahlung einen Puls von Attosekundenlänge heraus und lenken ihn auf Atome, deren Innenleben sie nun mithilfe eines solchen ultrakurzen „Schlaglichtes“ untersuchen können.

„Eigentlich war es gar nicht so schwierig, den kürzesten Blitz der Welt zu machen“, sagt Krausz. „Richtig kompliziert wurde es danach: Wir mussten die schnellste aller Stoppuhren konstruieren, um unseren Fachkollegen zu beweisen, dass unsere Pulse tatsächlich kürzer als eine Femtosekunde gewesen sind.“ Doch auch dies gelang. Die kürzeste Zeit, die mit der schnellsten Stoppuhr der Welt gemessen wurde, beträgt momentan 250 Attosekunden.

Nebenbei verfolgen Krausz und sein Team ganz praktische Anwendungsmöglichkeiten ihrer Technik: Ein mit 100 Attosekunden gepulster Röntgenlaserstrahl könnte zum Beispiel die Mikroskope der Molekularbiologen entscheidend verbessern oder die Strahlenbelastung bei medizinischen Untersuchungen minimieren.

Manchmal schweift der Forscher im Geiste schon über die nächste Winzigkeitsgrenze hinaus. „In der Kernphysik“, sagt Krausz, „sind die Zeitskalen noch einmal um mehrere Größenordnungen schneller. Um in einen Atomkern hineinzuschauen, braucht man irgendwann Blitze im Zeptosekundenbereich – das sind Tausendstel Attosekunden.“

Bei der nochmals 1000fach kürzeren Yoctosekunde wissen selbst die Experten noch nicht, was man mit ihr einmal anfangen könnte.

Immerhin hat diese Quadrillionstelsekunde schon einen Namen. Der nächstkürzere Zeitschnipsel wurde noch nicht benannt. Er firmiert nur unter der Bezeichnung 10^{-27} .

Jens Schröder



GEHGESCHWINDIGKEIT

Eilend in den Herztod

Ob groß oder klein, protestantisch oder katholisch geprägt, mit vielen oder wenigen Arbeitslosen – jede Stadt hat ihr eigenes Gehtempo. Dort, wo die Menschen hasten, sind sie zwar überdurchschnittlich wohlhabend und zufrieden, aber auch infarktgefährdet

Wie zufällig folgte Olaf Morgenroth der ahnungslosen Versuchsperson. Mit der Stoppuhr in der Hand maß der Forscher, wie lange die Frau brauchte, um jene 20 Meter zurückzulegen, die er zuvor unauffällig mit Kreidestrichen auf dem Trottoir markiert hatte. Auf diese Weise konnte das Team des Wissenschaftlers die Gehgeschwindigkeit der Versuchsperson exakt bestimmen.

Fast 6000 Passanten in 20 deutschen Städten erfassten der Psychologe Morgenroth und seine Mitarbeiter von der Technischen Universität Chemnitz so im Laufe ihres Projekts. Störfaktoren hatte man gründlich ausgeschaltet, um die Ergebnisse nicht zu verzerrten: Die Bürgersteige durften nicht über-

füllt sein oder ein starkes Gefälle haben, die Passanten nicht von vorwärts zerrenden Hunden oder bremsenden Kleinkindern beeinflusst sein.

Am meisten Zeit beim Gehen lassen sich nach den so erhobenen Daten die Einwohner von Trier. Sie kommen auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit von knapp unter 5 km/h. Die Hannoveraner und die Dresdner gehen mit fast 5,4 km/h immerhin acht Prozent schneller – der Spitzenwert unter den deutschen Städten.

Als bloß kurioser Befund für die vermischten Seiten der Tageszeitungen wäre die Untersuchung gründlich unterschätzt. Die Gehgeschwindigkeit liefert nämlich ein Maß für das Tempo einer Kultur. Der amerikanische Psychologe Robert Levine hat dies anhand von Messungen in 31 Ländern nachgewiesen. Ob Levines Forschergruppe stoppte, wie schnell Postbeamte eine Briefmarke verkaufen oder eben wie schnell Fußgänger schreiten – am eiligsten ging es stets in der Schweiz, in Irland, Deutschland und Japan zu. Am anderen Ende der Rangliste lagen Brasilien, Indonesien und Mexiko.

Innerhalb Deutschlands sind die Unterschiede zwar eher klein, aber wohl

Auch Passanten sind vor neugierigen Forschern nicht sicher. Psychologen der TU Chemnitz haben deren Gehtempo gemessen – und zu erklären versucht

Ferenc Krausz vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik erzeugt mit diesem Gerät Attosekunden-Blitze, um die in Atomen umherschwirrenden Elektronen zu »fotografieren«

