



Lasersphysiker Krausz

Stefan Hock / LMU

Beherrscher des Ultraflüchtigen

PHYSIKNOBELPREIS Der Garchinger Professor Ferenc Krausz hat es geschafft, das Flirren der Elektronen sichtbar zu machen. Jetzt erhält er die höchste Auszeichnung der Wissenschaft – und hat große Pläne: Mit seiner Entdeckung will er die Medizindiagnostik revolutionieren.

Es war etwas leichtsinnig, den Tag der offenen Tür im Garchinger Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ) ausgerechnet auf den 3. Oktober zu legen, den ersten Dienstag des Monats. Das wurde um elf Uhr morgens klar, als der Anruf aus Stockholm kam. Rund 100 Besucher liefen durch die Flure des Instituts, während die MPQ-Sprecherinnen eine Pressekonferenz auf die Beine stellen mussten. Ferenc Krausz, Direktor am MPQ, war für den Physiknobelpreis 2023 auserkoren. Seit 20 Jahren hatten er und sein Team auf diesen Moment gewartet.

Krausz, 61, ist klein, zupackend, ehrgeizig. Er spricht mit Nachdruck, manchmal fast missionarisch. Es bereitet ihm Freude, seine Zuhörer mitzunehmen ins Innerste der Moleküle, wo Elektronen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit umherflitzen. Sein großes Verdienst ist, dass er dieses Flirren sichtbar gemacht hat.

Krausz leitet ein Team von rund 120 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern am MPQ, an der Münchner Ludwig-Maximilians-Universität und an dem von ihm mitgegründeten Center for Molecular Fingerprinting in Budapest. Sie alle gehören zu seiner »Attoworld«, wie er es nennt.

Atto ist ein in der Physik verwendetes Präfix, das für das Milliardstel eines Milliardstels steht. Um die Bewegung von Elektronen in Molekülen nachzuweisen, musste Krausz Lichtblitze erzeugen, die nur wenige Attosekunden kurz sind, das heißt also wenige 0,000.000.000.000.001 Sekunden. Man kann auch sagen: unvorstellbar kurz.

Mit diesen Attoblitzen will Krausz die Welt nicht nur erkunden, er will sie auch verändern. Ein Teil seines Teams arbeitet daran, eine neue Art von Elektronik zu entwickeln, die vieltausendfach schneller schalten kann als die modernsten Mikrochips. Ein anderer

Teil hat sich nichts Geringeres vorgenommen, als die medizinische Diagnostik zu revolutionieren. Die Kollegen am MPQ bewundern Krausz für die Kraft seiner Visionen, einigen geht er damit sogar zu weit.

Am 10. Dezember, dem 127. Todestag von Alfred Nobel, überreicht der schwedische König Carl XVI. Gustaf ihm nun die goldene Medaille mit dem Konterfei des Preisstifters. Ferenc Krausz wird erhoben in den wissenschaftlichen Adelsstand.

Aufgewachsen ist er in einem 15.000-Einwohner-Städtchen gut 60 Kilometer westlich von Budapest. »Eher ein Dorf«, erklärt Krausz. John von Neumann, Leo Szilard, Eugene Wigner, Paul Erdős, Edward Teller: Ungarn hat viele bedeutende Wissenschaftler hervorgebracht. Auch Katalin Karikó, die in diesem Jahr den Medizinpreis vom schwedischen König entgegennehmen wird, stammt aus Ungarn. »Selbst in der Zeit des Sozialis-

mus war der naturwissenschaftliche Schulunterricht hervorragend«, sagt Krausz.

Schon als Schüler habe er seine große Leidenschaft entdeckt. »Ich verdanke es meinen Lehrern, dass die Physik zu meinem Leben wurde«, sagt er. Anhand zweier Induktionspulen führten sie im Unterricht vor, dass elektromagnetische Signale quer durch den Raum springen können. Krausz probierte es zu Hause genauer aus: »Als Antenne habe ich 15 Meter Draht von unserem Haus bis zur Garage gespannt«, erzählt er. Im Rauschen seines Selfmade-Radios knisterten Stimmen aus Russland und aus China. »Das hat tiefen Eindruck auf mich gemacht.«

Trotz seiner Begeisterung riet der Lehrer Krausz vom Physikstudium ab. Er empfahl Elektrotechnik. Das sei handfester, etwas fürs richtige Leben. So wurde Krausz zum Ingenieur.

Er studierte an der TU in Buda. Doch schon bald vermisste er die schöne Klarheit der Physik. Wann immer möglich, schlich er sich über die Donau nach Pest. Dort belegte er an der Uni die Kurse der Theoretischen Physik. Das solide Handwerkszeug des Ingenieurs, geschärft durch gute theoretische Kenntnisse – für Krausz ein Erfolgsrezept, das ihn bis zum Nobelpreis führte.

Dass er sich für die Laserphysik entschied, hatte mit Piko zu tun. In Budapest lernte er einen jungen Professor kennen, nicht viel älter als er selbst, der mit Pikosekundenlasern arbeitete. Krausz wusste: Milli bedeutet ein Tausendstel, Mikro steht für ein Millionstel, Nano heißt: ein Milliardstel. »Aber Piko, ein Billionsstel, das hatte ich damals noch nie gehört«, erzählt Krausz. Laserblitze, die nur Tausendstel von milliardstel Sekunden dauern – der Jungforscher war fasziniert. »Schneller als die schnellste Elektronik«, dachte er. Am Aufbruch in diese Welt des Ultraflüchtigen wollte er beteiligt sein.

1985 konnte Krausz erstmals einen Blick hinter den Eisernen Vorhang werfen. Für einige Monate durfte er bei dem Laserphysiker Arnold Schmidt in Wien hospitieren. Drei Jahre später wechselte er dauerhaft dorthin. Er verließ Ungarn zu einer Zeit, als es dort zu brodeln begann. Es herrschte Aufbruchstimmung, das kommunistische Regime geriet ins Wanken. Doch für all das interessierte sich Krausz wenig. Ihn lockte nicht der kapitalistische Westen, sondern das flirrende Reich der Moleküle, Atome und Elektronen.

Als Erstes lernte Krausz in Wien Femto kennen, ein weiteres magisches Präfix. Das Team, in dem er nun forschte, arbeitete mit Lasern, deren Blitze nur wenige Tausendstel einer Pikosekunde lang aufflackern. Femtosekunden nennt sich das.

Krausz wurde klar: je kürzer ein Lichtblitz, desto schneller die Bewegung, die sich damit einfangen lässt. Das Prinzip ist jedem Fotografen bekannt: Wer einen Rennwagen fotografieren will, darf nur Millisekunden lang belichten. Um Explosionen, den Einschlag von Geschossen oder aerodynamische Stoßwellen sichtbar zu machen, bedarf es noch kürzerer Verschlusszeiten.

Eindrucksvoll demonstriert das Phänomen eine Aufnahme aus der Frühzeit der Fotografie. Vermutlich im Jahr 1838 richtete Louis Daguerre die Kamera auf den Pariser Boulevard du Temple vor seinem Fenster. Weil die verwendete Silberplatte noch wenig empfindlich war, belichtete er rund fünf Minuten lang. Die Folge: Der Boulevard erscheint menschenleer. Zu erkennen sind einzig ein Schuhputzer und sein Kunde, denn nur sie verharrten unbewegt. Das rege Treiben der Menschen, Pferde und Kutschen war zu flüchtig. Erst eine kürzere Belichtungszeit hätte sie sichtbar machen können.

Wie der Schuhputzer auf dem Pariser Boulevard, so sind Atome im Grundzustand die unbewegten Objekte der Mikrowelt. Sie sind auf elektronenmikroskopischen Aufnahmen zu erkennen. Ihr Wackeln und Schwirren dagegen, ihr Stoßen, Hüpfen und Ruckeln blieb lange unsichtbar. Geändert haben dies erst die Ultrakurzblitze der Hochleistungslaser.

In Wien lernte Krausz, wie sich mithilfe der Femtosekundenlaser die allgegenwärtigen Vibrationen und Rotationen der Atome nachweisen lassen. Elektronen dagegen, so sagte

Momentaufnahme

Die **Belichtungszeit** ist die Dauer, über die ein Kamerasensor während einer Bildaufnahme dem Licht ausgesetzt ist. Je nach Zeitspanne können unterschiedlich schnelle **Motive** registriert werden.

Belichtungszeit: 1 Sekunde



10⁻³ Sekunden

↳ 1 Millisekunde



10⁻⁶

↳ 1 Mikrosekunde



Das Pendant bei der Bildgebung mithilfe von Lasern ist die **Dauer eines Laserpulses:**

10⁻¹⁵

↳ 1 Femtosekunde



10⁻¹⁸

↳ 1 Attosekunde



5 • Grafik

er sich, sind tausendfach leichter als Atome, sie bewegen sich deshalb tausendfach schneller. Um ihre Bewegungen sichtbar zu machen, würde es folglich tausendfach kürzerer Blitze bedürfen: Attosekundenblitze.

Also machte sich Krausz daran, seine eigene Vorsilbe ins Reich der Laserphysik einzuführen. Er wusste, dass er dazu die Physik würde überlisten müssen. Denn bis dahin hatten die Physiker, um Ultrakurzblitze zu erzeugen, infrarotes Laserlicht benutzt. Diese Strategie jedoch war mit den Femtosekundenlasern ausgereizt. Noch kürzere Attosekundenblitze konnte es nur im ultraviolett oder im Röntgenbereich geben.

Krausz ersann einen Trick: Mithilfe eines Femtosekundenlasers schleuderte er Elektronen mit hoher Wucht um einen Atomkern und zwang sie so, UV-Blitze abzufeuern. Im Jahr 2001 wies er seinen ersten Attosekundenblitz nach. »Es war beglückend zu sehen, was noch nie ein Mensch gesehen hatte«, sagt er. Von nun an war klar: Der Nobelpreis kam für Krausz in Reichweite.

Drei Jahre später wechselte er ans Garching Max-Planck-Institut, das wie nur wenige als Nobelpreisschmiede gilt. Fünf Direktoren gibt es am Institut derzeit. Einer von ihnen, Theodor Hänsch, erhielt den Preis im Jahr 2005. Ferenc Krausz tritt nun als zweiter vor den schwedischen König. Zwei weitere, Ignacio Cirac und Immanuel Bloch, gelten als Kandidaten.

Die Wand seines Büros am MPQ hat Krausz mit Titelblättern der Fachzeitschriften »Science« und »Nature« tapeziert. Sie zeigen bunte Bilder, Diagramme und Landschaften – Schnappschüsse aus der Attosekundenwelt, die magisch schön sind, doch so abstrakt, dass Krausz Mühe hat zu erklären, was eigentlich zu sehen ist.

Ohnehin mag sich der Laserphysiker nicht länger mit der bloßen Erkundung der exotischen Welt der Elektronen begnügen. Es regt sich in ihm der Bastler, der Ingenieur. Er möchte seine Attotechnik in den Dienst der Menschheit stellen.

Die naheliegendste Anwendung der Ultrakurzblitze liegt in der Mikrochip-Entwicklung. Seit Jahrzehnten schon gehorcht diese dem Mooreschen Gesetz: Durch fortgesetzte Miniaturisierung verdoppelt sich alle ein bis zwei Jahre die Leistungsfähigkeit der Chips. Aber damit wird bald Schluss sein – die Elektronik nähert sich atomaren Dimensionen, die Miniaturisierung stößt an ihre natürliche Grenze.

Doch gibt es eine andere Möglichkeit, die Rechengeschwindigkeit zu



Attosekundenphysiklabor am Max-Planck-Institut für Quantenoptik

Thorsten Naeser / LMU

REDEN WIR ÜBER ISRAEL

RICHARD C. SCHNEIDER DIE SACHE MIT ISRAEL

Fünf Fragen
zu einem
komplizierten
Land



192 Seiten, gebunden · 22,00 €
Auch als E-Book erhältlich.

Richard C. Schneider,
SPIEGEL-Autor und langjähriger
Israel-Korrespondent der ARD,
lebt seit fast 20 Jahren in Tel Aviv,
kennt Alltag und Geschichte
des Landes und weiß um
die gängigen Vorurteile
in Deutschland.

Bei den Antworten auf fünf
oft gestellte Fragen setzt er an,
um einige grundlegende Dinge
über Israel zu erklären – 75 Jahre
nach der Staatsgründung und
in einem entscheidenden Moment
für die Demokratie des Landes.



Daguerre-Aufnahme, um 1838*: Ein Treiben, zu flüchtig, um sichtbar zu sein

steigern: die Chips nicht kleiner, sondern schneller zu machen. Laserblitze, erklärt Krausz, erlauben Schaltvorgänge, deren Geschwindigkeit alle bisherige Elektronik bei Weitem übertrifft.

Zwar ist dem Laserphysiker bewusst, dass es ein weiter Weg ist, bis das theoretisch Mögliche praktisch verwirklicht wird. Doch lockt ein gewaltiger Schritt nach vorn: »Es geht um einen Faktor 100.000«, sagt Krausz. Mit anderen Worten: Rechnungen, für die ein herkömmlicher Computer einen Tag lang braucht, vollbrächte ein Attorechner in einer Sekunde.

Und diese Revolution der Elektronik ist keineswegs Krausz' kühnste Vision. Weitreichender noch könnte der medizinische Nutzen der Attotechnik sein. Krausz glaubt, mit ihrer Hilfe ein umfassendes Gesundheitsmonitoring möglich machen zu können. Ein Tropfen Blut soll dafür reichen.

Für das Jahr 2015 schrieb Krausz Stellen dafür aus. Gesucht seien Expertinnen oder Experten, die medizinische Anwendungen für seinen Attosekundenlaser finden könnten. Mihaela Zigman meldete sich. Sie ist Biologin, von Laserphysik verstand sie nichts. Doch das schreckte sie nicht. »Es wird schon etwas dabei herauskommen«, dachte sie sich. Krausz imponierte ihre Zuversicht.

Seither hat sich Krausz' Garching Arbeitsgruppe verändert. Molekularbiologen und Mediziner zogen ein, Roboter pipettieren nun Blut, in Tiefkühltruhen werden Proben bei minus 165 Grad Celsius verwahrt. Und Krausz wirbt auf seiner Website attoworld.de für eine Zukunft der Gesundheitsvorsorge, »wie sie noch nicht existiert«. In Budapest gründete er ein Zentrum, in dem Blutproben von 15.000 Probanden erfasst und ausgewertet werden sollen.

Die Forschenden in Garching und Budapest bestrahlen dazu Blutplasma mit intensivem Infrarotlicht. Dies regt sämtliche in der Probe enthaltenen Biomoleküle zu Schwingungen an, jedes von ihnen sendet daraufhin Signale aus. Blutfette, Enzyme, Stoffwechselprodukte, Hormone, Antikörper, Krebsmarker: Sie alle sind im Blut enthalten. Und jedes dieser Moleküle schwingt auf seine eigene, charakteristische Art.

Im Infrarotspektrum des Blutplasmas sind deshalb Informationen über jede Infektion, jede Stoffwechsel- oder Krebserkrankung verborgen. Theoretisch müsste es auch über Geschlecht und Alter eines Probanden Auskunft geben; ja sogar darüber, ob er zum Zeitpunkt der Blutabnahme müde, gestresst oder verliebt gewesen ist. Die Kunst besteht darin, all diese Informationen auszulesen.

Zigman und ihre Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter tasten zu diesem Zweck die Infrarotsignale mittels Attosekundentechnik ab. Künstliche Intelligenz soll dann helfen, sie zu deuten. Die Forschenden haben die Hoffnung, dass der Computer, wenn er mit den klinischen Daten Tausender Probanden gefüttert wird, diese Informationen mit den Infrarotspektren korrelieren kann. »Je mehr Daten eingespeist sind, desto verlässlicher werden die Ergebnisse«, sagt Zigman. Die ersten Studien an Krebspatienten seien ermutigend. Brust-, Lungen-, Prostata- und Blasenkarzinome ließen sich mit rund 80-prozentiger Sicherheit erkennen.

Noch ist allerdings nicht ausgemacht, ob die Attophysik je Eingang in die klinische Praxis findet. Möglicherweise wird die Initiative der Ganchinger in eine Sackgasse münden. Doch denkbar ist es auch, dass der Gesundheitscheck per Infrarotspektalanalyse der einst zur Routine wird.

Vielleicht erhält Krausz dann ja eines Tages einen weiteren Anruf aus Stockholm – diesmal am ersten Montag des Oktobers. Da wird der Medizinpreisträger verkündet.

Johann Grolle

* Der Schuhputzer und sein Kunde (links unten) gelten als die ersten abgelichteten Menschen der Fotografiegeschichte.