ANIKA BANK

„Ein Blick auf die Fundamente der Natur ist eine geradezu religiöse Erfahrung“

Albert Stolow filmt mit ultraschnellen Laserblitzen, wie sich Elektronen um Atome anordnen und Moleküle entstehen. Seine Forschungen öffnen die Tore zu einer neuen Lasermaterialbearbeitung und erfüllen ihn mit tiefer Gemütsruhe.

Herr Stolow, Sie behaupten, Sie haben eine dynamische Sichtweise der Natur. Was meinen Sie damit?

Wir leben in ungewöhnlichen Zeiten. Man macht sich das oft nicht klar, aber vor rund einhundert Jahren wussten wir nichts über die fundamentale Struktur von Molekülen, Stählen oder Medikamenten. Doch Quantenmechanik, Röntgenstrahlbeugung und Spektroskopie änderten unseren Blick auf die Natur komplett und wir fingen an, zu begreifen, dass Struktur und Funktion von Materie wesentlich zusammenhängen.

Die DNS ist das Paradebeispiel: Als wir ihre Doppelhelixstruktur erkannt hatten, verstanden wir, wie sie funktioniert. Die Sicht auf den Zusammenhang von Struktur und Funktion trug uns in vielen Fällen weit in Technik und Wissenschaft. Doch es ist eine unvollständige Sicht, weil sie statisch ist. Die Natur ist aber nicht statisch. Die Natur bewegt sich.

Was bedeutet das?

Wir müssen differenzieren zwischen einer Struktur und einem Prozess. Wenn eine Funktion einen dynamischen Anteil erfordert — sich also etwas ändert — , dann reicht ein statischer, struktureller Blick nicht aus. Stellen Sie sich vor, Sie entwerfen ein Flugzeug. Sie können das nicht tun, ohne zu verstehen, was passiert, wenn es sich bewegt.

Auf molekularer Ebene ist es dasselbe. Um fundamentale materielle oder molekulare Prozesse zu verstehen, müssen wir erst einmal akzeptieren, dass sie dynamisch sind. Das ist besonders wichtig für Prozesse, bei denen Licht mit Materie interagiert. Die Fotosynthese etwa — Basis des Lebens — besteht aus raschen Transformationen: sie dauern 10□-15 Sekunden. Das ist ein wirklich sehr dynamischer Prozess!

„Die Natur bewegt sich. Im 21. Jahrhundert wird es darum gehen, Formveränderungen und ihre Funktion zu erforschen.“

Okay, und was hat das jetzt mit der Form zu tun?

Nehmen wir ein anderes Beispiel: Auf den Stäbchen Ihrer Netzhaut sitzt wie eine Lichtantenne ein Molekül namens Retinal. Ich vereinfache jetzt ein bisschen: Wenn ein Photon das Retinal trifft, verändert dieses seine Form von gebogen zu gerade. Das verursacht einen mechanischen Druck auf die Zellmembran Ihrer Stäbchen und verändert die Leitfähigkeit. Die Folge ist ein winziger Stromstoß, ein Nervensignal, das Ihrem Gehirn meldet: Ich sehe etwas.

Sie sehen mittels ultraschneller Formveränderung. Wäre die Veränderung langsamer, würde sich das System entspannt geben: kein Stromstoß, kein Sehvermögen. Und rein von der Struktur her können wir nicht schließen, wie schnell etwas passiert. Im 21. Jahrhundert wird es deshalb darum gehen, ein neues Paradigma zu entwickeln: eine dynamisch-funktionale Sicht auf die Natur.

Lassen Sie mich raten: mit Laserpulsen, nicht wahr?

Genau. Nur Laserpulse sind schnell genug, um atomare und molekulare Prozesse zu beobachten. Außerdem wird Materie letztlich von elektrischen Kräften zusammengehalten. Und Licht ist natürlich ein elektromagnetisches Feld. Laser machen es möglich, elektrische Kräfte auf Materie auszuüben — und das kontrolliert und hochpräzise.

Wie geht das?

Alles, was wir machen, hat mit Interaktion von Licht und Materie zu tun. Auf drei Dinge kommt es bei ultrakurzen Laserpulsen an: Zeit, Phase und Intensität.

Das Offensichtlichste ist Zeit: Forscher beobachten die schnellsten Naturprozesse mit ultrakurzen Pulsen. Hier in Ottawa haben wir die Technik der zeitaufgelösten Photoelektron-Spektroskopie entwickelt. Einfach gesagt, versetzen wir mit einem Femtosekundenpuls ein Molekül in einen sogenannten Nichtgleichgewichtszustand. Dann kicken wir mit einem zweiten, verzögerten Puls ein Elektron aus dem Molekül heraus. Wir betrachten dabei die Streuung der emittierten Elektronen als Funktionen der Zeit. Hierbei lernen wir eine Menge darüber, wie Elektronen, Vibrationen oder Hitze in kleinen Zeitskalen strömen.

Nun zur Phase: Wir haben eine neue Art der Quantensteuerung entdeckt, die wir dynamische Stark-Steuerung nennen. Dazu benutzen wir phasengeformte, starke, ultraschnelle Laserpulse. Diese Methode steuert die Materieprozesse ganz ohne Absorption von Licht.

Wir machen uns dazu die Kraft des elektrischen Laserfeldes zunutze, den Stark-Effekt. Das ist eine ganz neue Form der Lasernutzung. Wir sind hier noch am Anfang, aber ich denke, da kommt noch viel. Zuletzt Intensität: Mit modernen Hochleistungslasern können wir elektrische Felder erschaffen, die stärker sind als die Kraft, die die Materie zusammenhält — ein ganz neues Feld der Licht-Materie-Interaktion!

Wir verwenden also das Licht als Werkzeug, um Materie auf molekularer Ebene kontrolliert zu verändern. Und schließlich nutzen wir energieschwache ultrakurze Pulse in der Mikroskopie zur Bildgebung von Zellen, Gewebe und anderer Materie. Die Bildfolgen entstehen in Echtzeit, sind chemiespezifisch und kommen völlig ohne Zusatz von Färbemitteln aus. Auf diese drei Arten — grob gesagt — nutzen wir ultraschnelle Laserpulse.

Beobachten Sie wirklich? Sie greifen durch Ihre Photonen doch auch in die Prozesse ein, die Sie beobachten wollen.

Das stimmt. Wir können natürlich niemals sehen, was ohne Licht passiert. Die erste Lektion der Quantenmechanik lautet: Beobachtung verändert immer den Prozess; es gibt keine Glaswand zwischen uns und dem Universum. Diese Physik ist jedoch wohlverstanden und alle wichtigen Fortschritte in Wissenschaft und Technik des letzten Jahrhunderts basieren auf ihr. Um unsere Experimente zu verstehen, wenden wir zusätzlich die Quantentheorie und elektromagnetische Theorie an.

Was für Laser benutzen Sie?

In der ultraschnellen Laserphysik findet aktuell eine technische Revolution statt, angestoßen vom neuen, leistungsstarken Ytterbium:YAG-Scheibenlaser. Im Gegensatz zu den bisher üblichen Titan:Saphir-basierten Lasern sind hier Repetitionsrate und Energie der Femtosekundenpulse frei skalierbar.

Zusammen mit TRUMPF Scientific Lasers bauen wir gerade in Ottawa ein einzigartiges System solcher Hochleistungslaser auf. Damit werden wir Grundlagenforschung und praxisorientierte Forschung zur Lasermaterialbearbeitung betreiben.

„Glauben Sie mir: Die Materialien der Zukunft wird man nur noch mit Ultrakurzpulslasern bearbeiten können."

Was hat die Welt von Ihrer Forschung?

Zunächst einmal entwickeln wir neue Geräte für nicht lineare Mikroskopie, die sich jeder kaufen und damit forschen kann. Mittelfristig wird das neue Verständnis von ultraschneller Licht-Materie-Interaktion zu neuen Formen der Lasermaterialbearbeitung führen.

Denken Sie an all die neuen Materialien, die gerade entstehen, mit ungewöhnlichen mechanischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften und ihren oft heterogenen Strukturen, wie etwa Komposite oder Laminate. Wie sollen die Leute solche Materialien bohren, schneiden oder feinbearbeiten? Glauben Sie mir: Die Materialien der Zukunft wird man nur noch mit Ultrakurzpulslasern bearbeiten können.

Und, noch weiter vorausgeblickt: Wir glauben, dass unsere Forschung dazu beitragen wird, zu verstehen, wie molekulare Systeme Ladungen so effizient und kohärent transportieren. Das wird eine Rolle spielen für die zukünftige Umwandlung solarer Energie und den Bau molekülgroßer Elektronik.

Woher nehmen Sie die Motivation für Ihre Arbeit?

Tja, alle Menschen blicken einmal zum bestirnten Himmel auf und fragen sich: Warum sind wir hier? Tief in uns haben wir den Drang, einen Sinn zu sehen.

Es kann natürlich sein, dass wir die Antworten nicht herausfinden werden. Dennoch führen wir einen langen Dialog mit der Natur. Zu diesem Dialog beizutragen — das ist die Motivation für viele Wissenschaftler. Meine auch.

Wie fühlt es sich eigentlich an, so nahe an die Fundamente der Natur zu rühren?

Ich gebe gerne zu: Es ist schwer, die Natur zu verstehen. Und wir müssen unbewiesen glauben, dass es eine logische Ordnung in ihr gibt, eine Rationalität, auch wenn wir sie noch nicht verstehen.

Wenn man es dann schafft, ein paar Puzzleteile zusammenzusetzen — dann fühlt sich das an wie eine Offenbarung. Eine geradezu religiöse Erfahrung. In diesen Momenten empfinde ich eine tiefe Gemütsruhe.

Passiert das oft?

Leider nein. Die meiste Zeit über bin ich verwirrt.

Prof. Albert Stolow ist Professor für Molekulare Photonik an der Universität Ottawa und Mitglied des National Research Council of Canada's Molecular Photonics. Er ist organisiert in der Optical Society of America und der American Physical Society. Mit seiner Forschungsgruppe nutzt er ultraschnelle Laser, um die schnellsten Prozesse in der Natur zu beobachten: die Bewegung von Atomen und Elektronen und die Reaktion von Materie auf Laserfelder. Stolow wurde mehrfach ausgezeichnet, unter anderem mit dem Earle-K.-Plyler-Preis der amerikanischen Physikgesellschaft und der kanadischen Queen Elizabeth II Diamond Jubilee Medal.

ANIKA BANK