



FORSCHUNGSARBEIT
„Molekulares Hollywood“

DOMINIK PELLER
Elitestudiengang Physik mit integriertem Doktorandenkolleg
Universität Regensburg, Dezember 2018

Molekulares Hollywood

Dominik Peller hat im Elitestudiengang „Physik mit integriertem Doktorandenkolleg“ an der Universität Regensburg studiert. Er hat dort das weltweit erste Ultrakurzzeit-Mikroskop entwickelt, das ultraschnelle Bewegungen eines einzelnen Moleküls sichtbar machen kann – eine Billion Mal schneller als eine konventionelle Kamera.

Die Nanowelt in Bewegung

In der Chemie ist es üblich, sich konkret vorzustellen, wie sich Atome und Moleküle durch den Raum bewegen, drehen und verbiegen, um schließlich Bindungen untereinander einzugehen und sie wieder aufzubrechen. Physiker simulieren, wie Elektronen zum Beispiel in einer Solarzelle erzeugt und effizient abtransportiert werden. Und die physiologischen Funktionen komplexer Biomoleküle, die letztlich die Grundlage des Lebens bilden, werden auf elementarer Ebene durch ultraschnelle Bewegungen von Elektronen und Atomen bestimmt.

Unsere Vorstellung von der Dynamik des Nanokosmos baut jedoch ausschließlich auf theoretischen Modellen auf, denn es war bisher vollkommen unmöglich, solche Phänomene direkt in bewegten Bildern sichtbar zu machen. Atome und Moleküle sind zehntausendfach zu klein, um sie mit einem konventionellen Lichtmikroskop zu beobachten. Zudem sind ihre Bewegungen unvorstellbar schnell: eine Billion Mal schneller als Bewegungen, die konventionelle Kameras einfangen können.

In seiner Masterarbeit an der Universität Regensburg hat Dominik Peller das weltweit erste Ultrakurzzeit-Mikroskop entwickelt, mit dem bewegte Bilder eines einzelnen Moleküls in Femtosekunden-Zeitlupe aufgezeichnet werden können ($1 \text{ fs} = 0,000\,000\,000\,000\,001 \text{ s}$).

Ein blitzschnelles Mikroskop

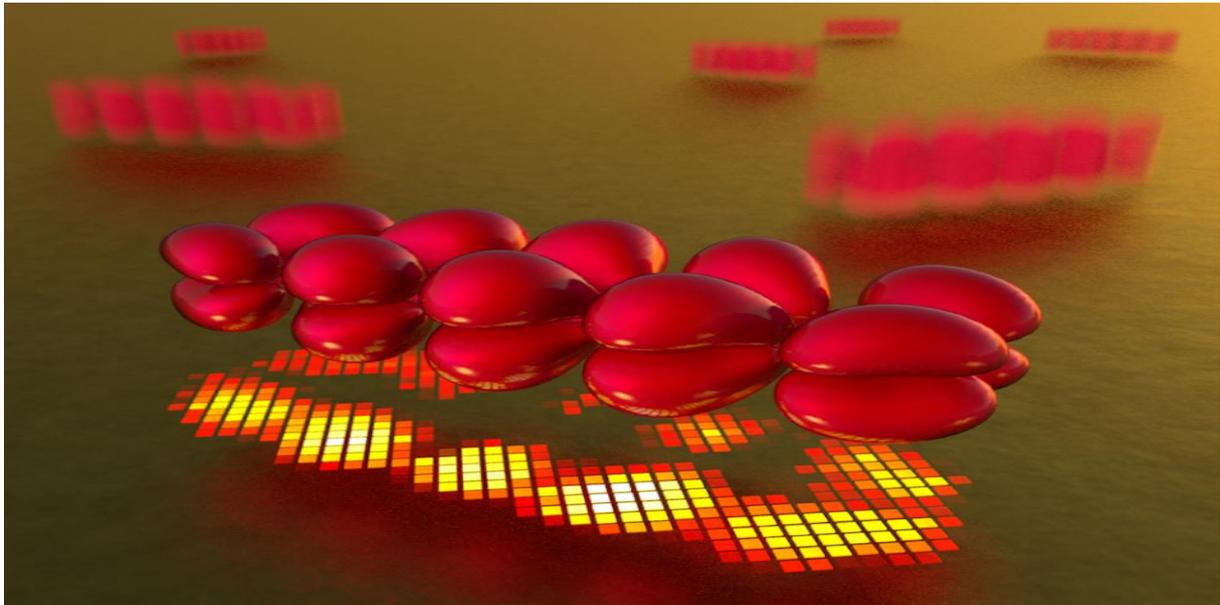
Rastertunnelmikroskopie ist eine der effizientesten Methoden, um ein einzelnes Atom oder Molekül abzubilden (Nobelpreis 1986). Die Grundidee dieser Technik ist vergleichbar mit dem Mechanismus eines Plattenspielers, der die Rillen auf einer Schallplatte mit einer Nadel abtastet. In einem Rastertunnelmikroskop wird eine extrem scharfe Nadel mit nur einem einzigen Atom an der Spitze als Sensor benutzt, der über eine Oberfläche schwebt und einzelne Atome und Moleküle abtastet. So können Standbilder eines Moleküls aufgenommen werden, jedoch ist die Technik viel zu langsam, um Molekülbewegungen sichtbar zu machen.

Andererseits ermöglichen Femtosekunden-Laser seit Kurzem, ultraschnelle Vorgänge mithilfe von Lichtwellen zu messen und sogar zu kontrollieren. In solchen rein optischen Experimenten ist die Ortsauslösung jedoch begrenzt.

Regensburger Physiker haben diese beiden Konzepte kombiniert und das erste ultraschnelle Mikroskop gebaut, mit dem ein einzelnes Molekül in Femtosekunden-Zeitlupe beobachtet werden kann. Sie kontrollieren ihr Rekord-Rastertunnelmikroskop mit ultrakurzen Laserimpulsen und können damit Einzelmolekülbewegung steuern und sichtbar machen. Dieser neuartige Ansatz macht den Nanokosmos auf völlig neue Weise experimentell zugänglich.

Femtosekunden-Filme einer chemischen Reaktion

In ersten Experimenten untersuchte Dominik Peller das organische Molekül Pentacen. Bringt man dieses Molekül in Kontakt mit einer Oberfläche, so kann es dort senkrecht zur Oberfläche schwingen. Diese ultraschnelle Bewegung konnten die Wissenschaftler in Regensburg steuern und im weltweit ersten Femtosekundenfilm eines einzelnen Moleküls sichtbar machen. Während seiner Doktorarbeit setzt Dominik Peller diese Experimente fort mit dem Ziel, den ersten Zeitlupenfilm einer chemischen Reaktion aufzuzeichnen.



Die Abbildung stellt einzelne Pentacen-Moleküle dar, die auf einer Goldoberfläche vibrieren. Farbige Datenpunkte darunter zeigen den weltweit ersten Femtosekunden Schnappschuss eines einzelnen Moleküls.

Rechte: Copyright Dominik Peller

Weitere Informationen:

<https://www.nature.com/articles/nature19816>