

11./12.03.2024

Bewegung in der Nanowelt: Wie Laser die schnellsten molekularen Prozesse erfassen können

Malte Oppermann, Prof.Dr.

Zusammenfassung

Es ist seit Jahrzehnten ein Traum der Naturwissenschaften, die dynamische Veränderungen von Molekülen während einer chemischen Reaktion oder ihrer biologischen Aktivität direkt beobachten zu können. Um dies auch für die schnellsten molekularen Prozesse zu erreichen, benötigen wir jedoch Messverfahren, die noch schneller sind: die Messungen müssen in einem Bruchteil der Prozessdauer durchgeführt werden, damit dieser mit ausreichender zeitlicher Auflösung verfolgt werden kann.

Für chemische Prozesse ist dies eine ganz besondere Herausforderung, denn die Schwingungen, die Bildung und der Bruch chemischer Bindungen finden auf der Femtosekundskaala statt (1 Femtosekunde = 10^{-15} Sekunden). Dieser Messbereich ist das Fachgebiet der ultraschnellen Spektroskopie, bei der ultrakurze Licht- oder Elektronenblitze die elektronischen und strukturellen Eigenschaften molekularer Systeme in weniger als einer Billionstel Sekunde erfassen und ihre Veränderungen in Echtzeit verfolgen können.

Angefangen mit den ersten bahnbrechenden Femtosekunden-Experimenten mit gepulsten Farbstofflasern in den 1980er Jahren [1], haben immer weitere Durchbrüche in der Laser- und Teilchenbeschleunigertechnologie eine erstaunliche Palette ultraschneller Messtechniken hervorgebracht [2]. Diese bieten heute Zugang zum gesamten elektromagnetischen Spektrum, vom Röntgenbereich bis zum Terahertzbereich, und den dort messbaren Eigenschaften von Molekülen und Materialien. Diese Werkzeuge haben unsere Möglichkeiten zur Analyse und zum Verständnis molekularer Funktionsweisen revolutioniert, was erst kürzlich wieder durch den Physik-Nobelpreis 2023 hervorgehoben wurde, der für die Entwicklung von Attosekunden-Laserpulsquellen (1 Attosekunde = 10^{-18} Sekunden) zur Untersuchung elektronischer Bewegungen in Atomen und Molekülen verliehen wurde [3].

Vor diesem Hintergrund werde ich einen Lehrvortrag über die Grundprinzipien der Erzeugung ultrakurzer Laserpulse halten und darüber, wie diese zur Erfassung von chemischen Prozessen eingesetzt werden können. Abschließend werde ich einen Einblick in die Forschung an der Universität Basel geben, für die ich zusammen mit meiner Forschungsgruppe neuartige ultraschnelle Laserspektroskopiemethoden entwickle, die ihre hohe Zeitauflösung mit einer räumlichen Auflösung auf der Nanoebene verbinden. Hierzu nutzen wir einen neuen Ansatz, bei dem Änderungen in der strukturellen Symmetrie der Moleküle, genannt Chiralität, mithilfe von ultrakurzen Laserpulsen erfasst werden [4]. Wir können so die Strukturbewegungen von Molekülen während ihrer (bio)chemischen Aktivität in Echtzeit verfolgen und direkte Einblicke in ihre Funktionsweise erhalten. Unsere Arbeit zielt daher auf die Untersuchung dynamischer molekularer Prozesse, die immer noch schwierig experimentell zu erfassen sind, zum Beispiel die ultraschnellen Rotationen synthetischer molekularer Motoren und die Konformationsänderungen von Proteinen in ihrer natürlichen flüssigen Umgebung.



Universität
Basel

Literatur und Internetlinks

- [1] Nobelpreis in Chemie 1999 für Ahmed H. Zewail, für die Entwicklung der Femtosekundenspektroskopie: [Weblink](#)
- [2] Maiuri, M., Garavelli, M., and Cerullo, G. Ultrafast Spectroscopy: State of the Art and Open Challenges. *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, 142, 1, 3–15, <https://doi.org/10.1021/jacs.9b10533>.
- [3] Nobelpreis in Physik 2023 für Pierre Agostini, Ferenc Krausz und Anne L’Huillier, für die Erzeugung von Attosekunden Laserpulsen: [Weblink](#)
- [4] Oppermann, M. Capturing the Chirality of Photoexcited States with Ultrafast Circular Dichroism. *Chimia* **2024**, 78, 45, <https://doi.org/10.2533/chimia.2024.45>.

Kontakt

malte.oppermann@unibas.ch
<https://oppermann.chemie.unibas.ch>