idw - Informationsdienst Wissenschaft
Nachrichten, Termine, Experten

Pressemitteilung

Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts
Edda Fischer

22.10.2024
http://idw-online.de/de/news841683

Wissenschaftliche Publikationen
Physik / Astronomie
überregional

Femtosekunden-Feldoskopie ermöglicht den Zugriff auf Molekül-Fingerabdrücke im nahen Infrarotbereich

Eine Revolution in der Biomarker-Erkennung könnte die Entwicklung einer neuartigen Technik namens „Femtosekunden-Feldoskopie“, entwickelt von den Forscher*innen des Max-Planck-Instituts für die Physik des Lichts“, bedeuten. Mit dieser Methode können kleinste Flüssigkeitsmengen bis in den mikromolekularen Bereich mit unübertroffener Empfindlichkeit gemessen werden. Die Messung erfolgt im nahen Infrarotbereich. Die Methode ebnet den Weg für fortschrittliche biomedizinische Anwendungen, weil sie neue neue Möglichkeiten für die markierungsfreie Bio-Bildgebung und die Erkennung von Zielmolekülen in wässrigen Umgebungen liefert.

Ultrakurze Laserpulse können Moleküle impulsartig in Schwingung versetzen, ähnlich wie ein kurzes Klopfen eine Glocke zum Klingen bringen kann. Wenn die Moleküle durch diese kurzen Lichtimpulse angeregt werden, erzeugen sie ein Signal, das als „Free-Induction Decay“ (FID) bezeichnet wird und wichtige Informationen über die Moleküle enthält. Das Signal dauert nur einen sehr kurzen Moment – bis zu einer Billionstel Sekunde – und liefert einen eindeutigen „Fingerabdruck“ der Molekülschwingung. Bei der Femtosekunden-Feldkopie wird das Molekülsignal mithilfe eines ultrakurzen Laserpulses vom Laserpuls selbst getrennt, wodurch es einfacher wird, die Schwingungsantwort ohne Hintergrund zu erfassen. Wissenschaftler*innen sind dadurch in der Lage spezifische Moleküle mit hoher Präzision zu identifizieren, was neue Möglichkeiten für die saubere, störungsfreie Erkennung biologischer Marker eröffnet. Das Wirkprinzip konnten die Forscher*innen erstmals erfolgreich durch die Fähigkeit nachweisen, schwache Kombinationsbanden in Wasser und Ethanol bei Konzentrationen von nur 4,13 Mikromol zu messen.

Das Herzstück dieser Technik ist die Erzeugung von hochleistungsfähigen ultrakurzen Lichtimpulsen mithilfe von gasgefüllten photonischen Kristallfasern. Diese Impulse, die auf fast einen einzigen Zyklus einer Lichtwelle komprimiert sind, werden zur Erkennung mit phasenstabilen Nahinfrarotimpulsen kombiniert. Eine Felddetektionsmethode, die elektrooptische Abtastung, kann diese ultraschnellen Impulse mit einer Detektionsbandbreite von nahezu Petahertz messen und Felder mit einer zeitlichen Auflösung von 400 Attosekunden erfassen. Diese außergewöhnliche Zeitauflösung ermöglicht es Wissenschaftlern, molekulare Wechselwirkungen mit unglaublicher Präzision zu beobachten.

„Unsere Ergebnisse verbessern die analytischen Fähigkeiten flüssiger Proben erheblich und bieten eine höhere Empfindlichkeit und einen breiteren Dynamikbereich“, sagte Anchit Srivastava, Doktorand am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts. „Wichtig ist, dass unsere Technik es uns ermöglicht, Signale sowohl aus der Flüssig- als auch aus der Gasphase herauszufiltern, was zu genaueren Messungen führt.“

Hanieh Fattahi erklärt: „Durch die gleichzeitige Messung von Phasen- und Intensitätsinformationen eröffnen wir neue Möglichkeiten für die hochauflösende biologische Spektromikroskopie. Diese Forschung erweitert nicht nur die Grenzen der feldaufgelösten Messtechnik, sondern vertieft auch unser Verständnis ultraschneller Phänomene und hat potenzielle Anwendungen in verschiedenen Bereichen, darunter Chemie und Biologie, wo eine präzise molekulare Erkennung unerlässlich ist.“

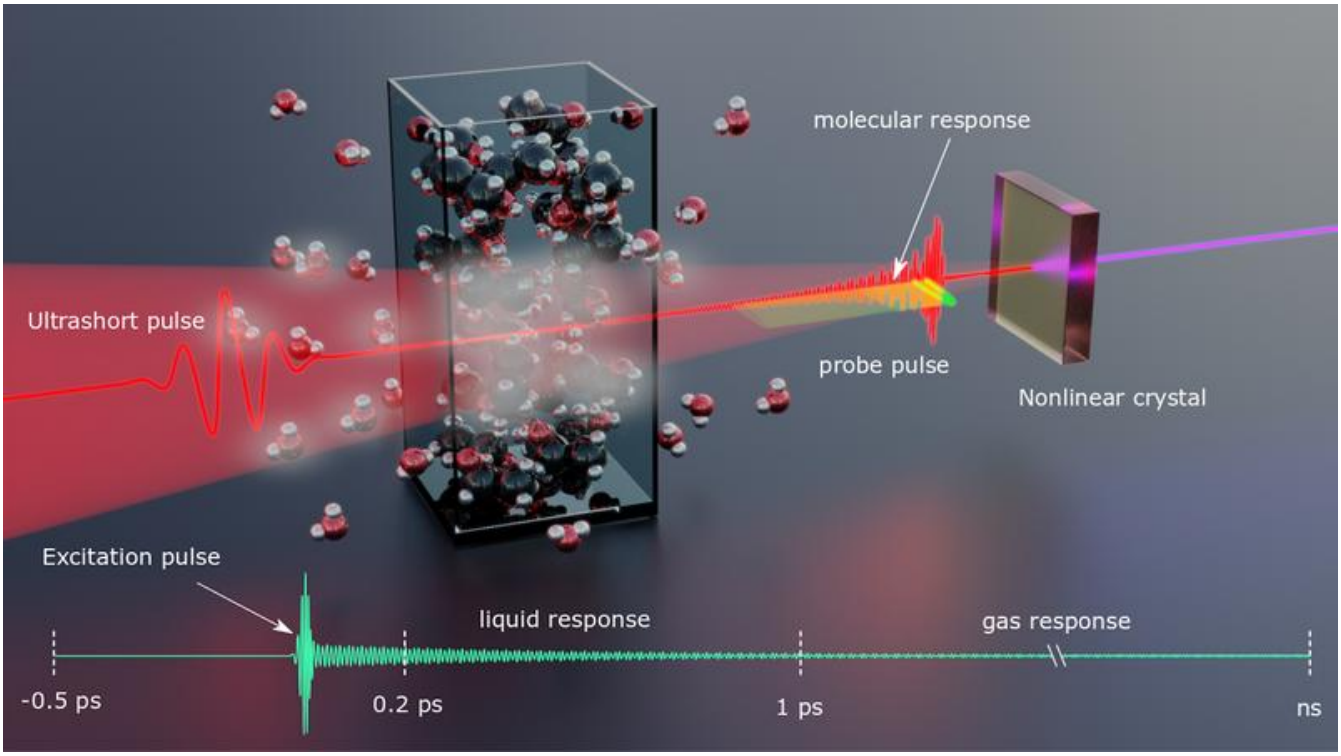
Bildunterschrift schematischer Versuchsaufbau:
Ein kurzer Lichtimpuls regt Moleküle bei bestimmten Wellenlängen im nahen Infrarotbereich zum Schwingen an. In diesem Versuchsaufbau stellen die Moleküle in dem kleinen Behälter die flüssige Versuchsprobe dar und die umgebenden Moleküle den Wasserdampf in der Luft. Der Lichtimpuls erfasst die kombinierte Reaktion sowohl der Probe als auch der Umgebung. Ein zweiter Lichtimpuls wandelt den ersten in höhere Frequenzen um und erzeugt ein zeitabhängiges messbares Signal. Dieses Ausgangssignal enthält sowohl Information über den ersten Impuls selbst als auch über die verzögerten Reaktionen der Flüssigkeitsprobe (die einige Billionstel Sekunden dauert) und den umgebenden Wasserdampf (die Hunderte von Milliardstel Sekunden dauert). Durch die Zeitabhängigkeit des Signals lässt sich die kurzlebige Antwort der Flüssigkeit von der langlebigen Antwort des Gases unterscheiden.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

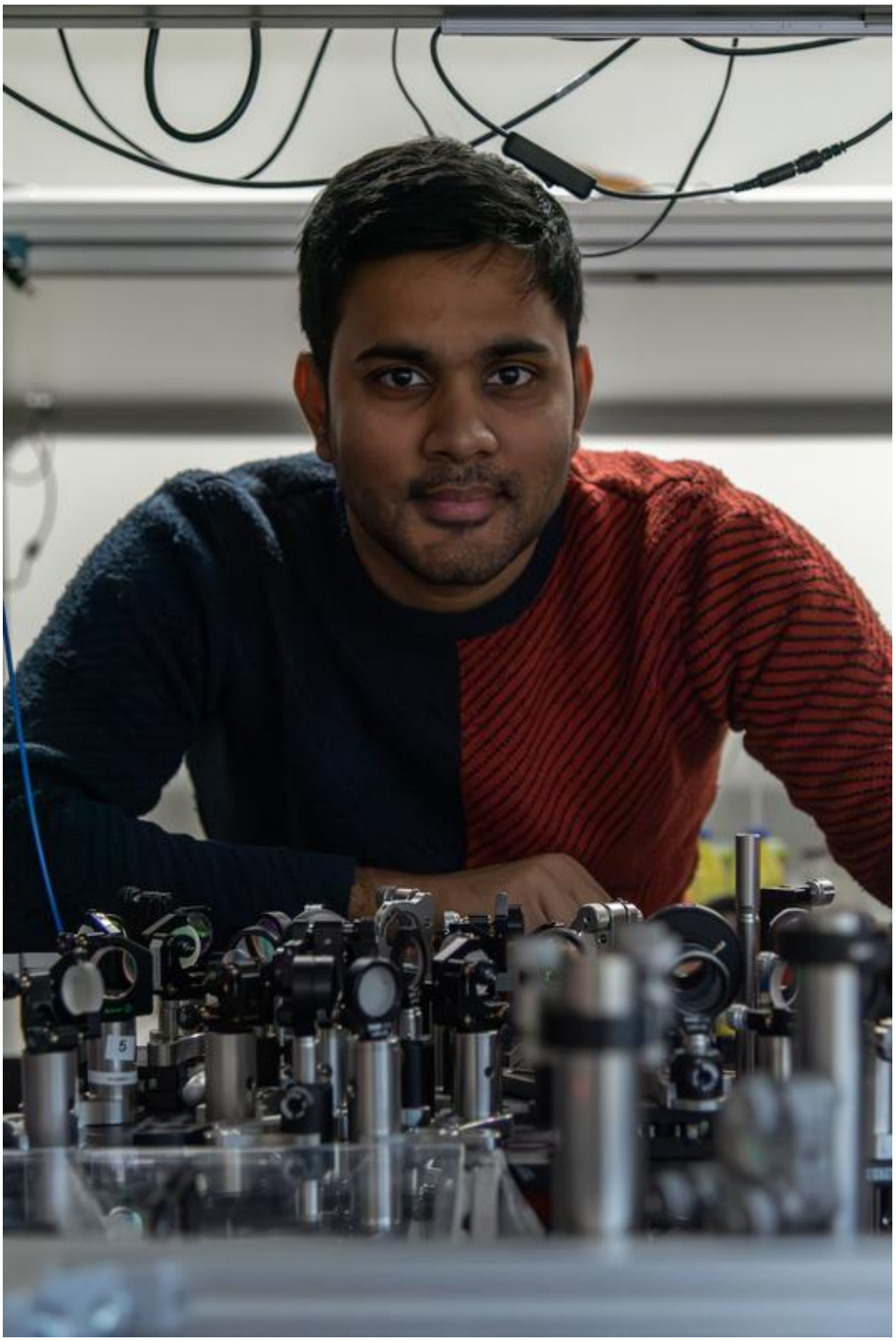
Dr. Hanieh Fattahi
Forschungsgruppen-Leiterin "Femtosekunden-Feldoskopie"
Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts
hanieh.fattahi@mpl.mpg.de

Originalpublikation:

Anchit Srivastava, Andreas Herbst, Mahdi M. Bidhendi, Max Kieker, Francesco Tani and Hanieh Fattahi. Near-Petahertz Fieldoscopy of Liquid. Nature Photonics (2024).
https://doi.org/10.1038/s41566-024-01548-2



Schematische Darstellung eines Versuchsaufbaus. Bildunterschrift siehe Ende des Textes.
Florian Sterl



Anchit Srivastava, Doktorand in der Forschungsgruppe "Femtosekunden-Feldoskopie", geleitet von Dr. Hanieh Fattahi .
Susanne Viezens