

Femtosekunden-Schwingungsspektroskopie

Das kurze Gedächtnis des Wassers

Einem Forscherteam des Max-Born-Instituts in Berlin-Adlershof und der University of Toronto ist es erstmals gelungen, ultraschnelle Fluktuationen in der Struktur von flüssigem Wasser nachzuweisen. Die Wissenschaftler nutzten dazu neue Methoden der Femtosekunden-Schwingungsspektroskopie. Sie fanden heraus, dass das strukturelle Gedächtnis im fluktuierenden Netzwerk gekoppelter Wassermoleküle innerhalb von 50 Femtosekunden verloren geht, schneller als in jeder anderen Flüssigkeit.

Wasser ist eine der Grundlagen des Lebens auf der Erde. Es dient als Medium für die wichtigsten biologischen Vorgänge, sei es als «Lösungsmittel» für Biomoleküle, sei es als Lieferant von Protonen für den Transport von Ladungen. Flüssiges Wasser besteht aus einem ungeordneten Netzwerk von Molekülen, das durch schwache chemische Bindungen (die so genannten Wasserstoffbrücken) zusammengehalten wird. Dieses Netzwerk unterliegt ständigen Fluktuationen, das heißt, die Anordnung der Wassermoleküle und ihre Wechselwirkung ändern sich ständig. Dabei werden Wasserstoffbrücken immer wieder gebrochen und neu geformt. Trotz intensiver Forschung ist die strukturelle Dynamik des Wassers, die wesentlich im Femtosekundenbereich abläuft, erst in Ansätzen bekannt.

In den in Berlin durchgeführten Experimenten regt ein Lichtimpuls in einem extrem dünnen Wasserfilm lokal eine molekulare Schwingung an: die Streckschwingung eines Wassermoleküls. Der Wasserfilm ist 0,5 µm dünn. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist hundertmal dicker. Der infrarote Lichtimpuls (Wellenlänge: 3 µm) dauert 70 fs. (Eine Femtosekunde ist ein Millionstel einer Milliardstel Sekunde.)

Das von dem Lichtimpuls zum Schwingen angeregte Molekül dient als Sonde für die Fluktuationen des molekularen Netzwerks, die zu einer Veränderung der Schwingungsfrequenz und -phase führen. Mit dem Verfahren der «zweidimensionalen Schwingungsspektroskopie» machen die Wissenschaftler am MBI diese Änderungen in Echtzeit sichtbar und bestimmen daraus Zeitskala und Mechanismus der Fluktuationen.

Dabei zeigt sich, dass die zum Zeitpunkt der Schwingungsanregung vorliegende

Struktur des Netzwerks innerhalb von zirka 50 fs verloren geht, einem Zeitintervall, das viel kürzer ist als die Lebensdauer einer Wasserstoffbrücke von ungefähr 1000 fs. Ursache des schnellen Strukturverlusts sind gehinderte Kipp- und Rotationsbewegungen der gekoppelten Moleküle, die die Wissenschaftler sprechen von «Librationen» der Wasserstoffbrücken. Diese verändern die relative Orientierung der

Wassermoleküle zueinander und tragen so zum Verlust des strukturellen Gedächtnisses in der Flüssigkeit bei. Gleichzeitig wird auf einer etwas langsameren Zeitskala von 100 fs die anfänglich lokalisierte Schwingungsanregung auf die Nachbarmoleküle übertragen. Die ultraschnelle strukturelle Dynamik und der extrem schnelle Zerfall lokaler Anregungen sind entscheidend für die Stabilisierung von biologischen Systemen in wässriger Umgebung.

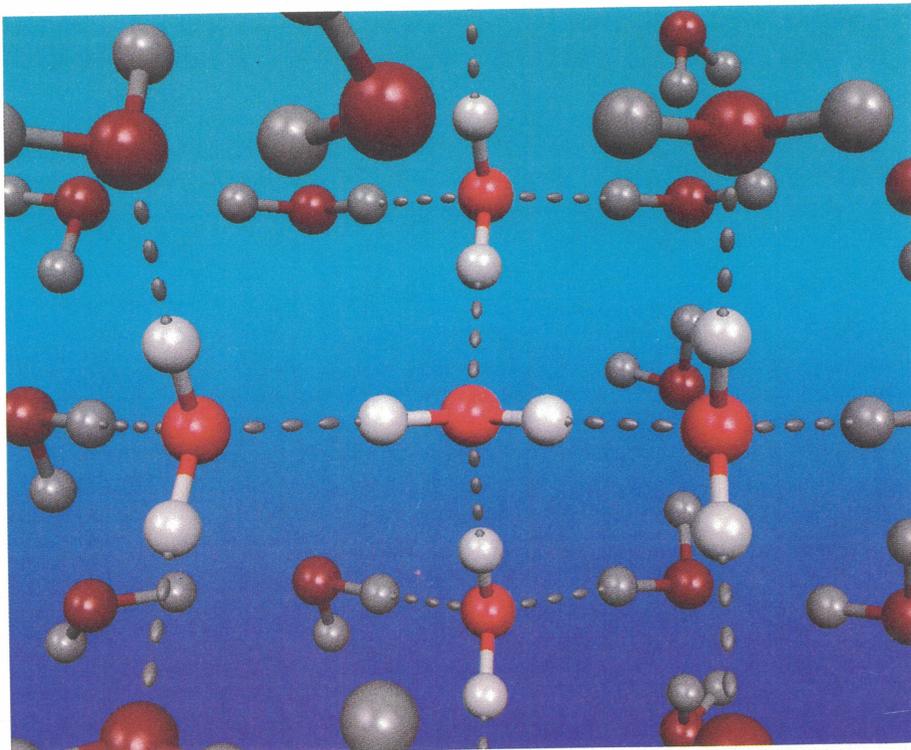
Die Ergebnisse der deutsch-kanadischen Zusammenarbeit zeigen erstmals das extrem kurze strukturelle Gedächtnis von reinem Wasser. Die Analyse dieses Verhaltens in ähnlichen Systemen, zum Beispiel in wässrigen Lösungen, und seine Bedeutung für biologische Funktionen werden Gegenstand weiterer gemeinsamer Untersuchungen sein.

Quelle:

Informationsdienst Wissenschaft

Weitere Informationen

Prof. Dr. Thomas Elsässer
Max-Born-Institut, Berlin
Telefon +49 30 6392 1400
elsasser@mbi-berlin.de



Wassermoleküle sind in ein Netzwerk von Wasserstoffbrücken (kleine graue Symbole) zwischen den Wasserstoffatomen (grau) und Sauerstoffatomen (rot) auf benachbarten Molekülen eingebettet.

Unter www.fv-berlin.de/pm_archiv/2005/fotos/animation1.gif wird eine Animation zur Streckschwingung des Wassermoleküls gezeigt. Eine Animation zur Librationsbewegung des Wassers ist unter www.fv-berlin.de/pm_archiv/2005/fotos/libration.gif zu finden.
Bild: J. Dreyer, MBI