

Geochemie

Bildung von Eis VII unter hohem Druck

Eine Gruppe von Theoretikern des **Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)** konnte ein langes Rätsel der Keimbildung bei einer Hochdruck-Phase von Eis, dem sogenannten „Eis VII“, lösen. Dieses Eis wird nahe des Kerns von Exoplaneten mit Ozeanen vermutet, die kürzlich außerhalb unseres Sonnensystems entdeckt wurden. Außerdem wurde eine Existenz dieses Eises auch im Erdmantel nachgewiesen.

In Laborexperimenten, die flüssiges Wasser einem Druck von 100.000 mal dem Umgebungsdruck aussetzen, hat man herausgefunden, dass Wasser zu Eis VII gefriert. Jedoch haben Experimente bei verschiedenen Forschungsgruppen gegensätzliche Formen von Keimbildung gezeigt. In einem Fall war die Keimbildung heterogen und in anderen Fällen war sie homogen und das mit einer viel schnelleren Kristallisierungsrate.

„Die Konditionen die durch Stoßwellen-Kompression erzeugt werden sind ungewöhnlich, insofern, dass sie eine enorm treibende Kraft bilden, die das System zur Keimbildung bringt – es sind einzigartige Überlegungen, die man bei dem Festwerden unter hohem Druck berücksichtigen muss. Die Flüssigkeit wird so schnell vom Gleichgewicht vertrieben, dass eine Klumpenbildung zusätzliche Zeit braucht, dieser Prozess ist als transiente (flüchtige) Keimbildung bekannt.“

so Philip Myint, Mitarbeiter in der Physikabteilung am LLNL und Hauptautor der Studie.

Myint und sein Team fanden heraus, dass diese transienten Keimbildungsmechanismen einen schwerwiegenden Effekt auf die Zeitskala der Kristallisation haben. Diese Erkenntnis ändert die Durchführung von Hochdruck-Experimenten in der Zukunft.

Die Keimbildung eines Kristalls beginnt mit der Entstehung eines Atomklumpens, wodurch eine Phasengrenzfläche entsteht, die weder flüssig noch fest ist. In frierendem Wasser bei Umgebungsdruck gibt es eine Wärmeschicht, die dieser Grenzfläche vorausseilt. Die neue theoretische Studie zeigt nun ein völlig neues Bild von den kinetischen Vorgängen bei Eis VII, wo es keine solche Phasengrenzfläche gibt.

„Dieses extreme Temperatur-Ungleichgewicht zwischen der Flüssigkeit und dem wachsenden Eis VII-Kristalls kommt von der extremen Unterkühlung, die zum Gefrieren der Flüssigkeit führt. Das hat zum Ergebnis, dass es keinen langsamen Prozess der latenten Wärmeabfuhr gibt und die Grenzflächengeschwindigkeit wird nur von dem sehr schnellen Molekülaufbau an der Grenzfläche kontrolliert. Weiterhin ist die Keimbildung in diesem System sehr speziell im Vergleich zu dem was über das Gefrieren mit einem einzigen kritischen Keim mit weniger als 100 Wassermolekülen, allgemein bekannt ist. In diesem Bereich werden die Grenzen unseres physikalischen Verständnisses getestet.“ so der Co-Autor Alex Chernov, Physiker am LLNL.

Das von dem Team entwickelte theoretische Modell erklärt mehr als ein Dutzend der Hochdruck-Gefrierungsexperimente. Anwendung findet es bei Technologien, wo sehr hohe Raten von Keimbildung nötig sind, wie zum Beispiel Materialsynthese oder Datenspeicher.

„Das Verständnis und die Kontrolle von dynamischen Zusammenhängen über verschiedene Skalen, in Materie weit weg vom Gleichgewicht, ist heute wahrscheinlich die wichtigste Pionierforschung und Unbekannte. Fortschritt in diesem Feld ist essentiell für das Wettrennen um Technologien des 21.“

Jahrhunderts.“

so Co-Autor Babak Sadigh, Physiker am LLNL und Experte für Phänomene des Nichtgleichgewichts.

Dem Team zufolge war der wesentliche Durchbruch nur möglich nachdem die empirischen Ansätze, die von der breiten Gemeinschaft der Stoßwellen-Physik bisher angenommen wurden, komplett außer Acht gelassen wurden.

Die künftige theoretische Arbeit wird sich auf das bessere Verständnis der heterogenen Keimbildung konzentrieren. Das Team hält diese für die wichtigeren Prozesse bei niedrigerem Druck.

“Das ist die wahre Herausforderung. Keimbildung ist ein seltenes Vorkommnis und im Prinzip braucht es nur einen einzigen heterogenen Startplatz.“

so Jon Belof, korrespondierender Autor der Studie.

Quelle und Veröffentlichungen:

<https://www.llnl.gov/news/new-understanding-solidification-high-pressure-ice-found-ocean-world-planets>

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.121.155701>

<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-648X/aac14f/meta>

<https://aip.scitation.org/doi/full/10.1063/1.4989582>
