

Press release**Max-Planck-Institut für Astronomie****Dr. Markus Pössel**

06/05/2020

<http://idw-online.de/en/news748974>Research results
Physics / astronomy
transregional, national**Auf d. Weg vom Staub zum Leben: Neue Experimente zeigen Komplexität chemischer Reaktionen auf dünnem Eis um Staubkörner**

Astronomen des Max-Planck-Instituts für Astronomie (MPIA) und der Universität Jena haben neue Erkenntnisse zu Eigenschaften eisbedeckter kosmischer Staubkörner gewonnen – winziger kosmischer "Chemielabors". Solche Staubkörner, so das Ergebnis, haben keine einfachen, regelmäßigen Formen, dick mit Eis bedeckt, sondern bilden lockere Verästelungen mit überraschend großer Oberfläche und vergleichsweise dünnen Eisschichten. Das hat Konsequenzen für die Art und Weise, wie in den Tiefen des Alls komplexe organische Reaktionen ablaufen – und damit auch für die Entstehung von präbiotischen Molekülen, wie sie für den Ursprung des Lebens auf der Erde eine wichtige Rolle gespielt haben könnten.

In den Tiefen des Alls komplexe Moleküle entstehen zu lassen, ist alles andere als einfach. Die natürlichen Laboratorien, in denen die notwendigen Reaktionen ablaufen, sind nach heutigem Kenntnisstand winzige interstellare Staubkörner mit Eis-Oberflächen. Neue experimentelle Ergebnisse von Alexey Potapov von der MPIA-Gruppe Labor-Astrophysik an der Universität Jena und seinen Kollegen deuten nun darauf hin, dass die betreffenden Eisschichten unter realistischen Bedingungen durchaus so dünn sein können, dass dann auch die Oberflächenstruktur der Staubkörner selbst eine wichtige Rolle spielt.

Das eröffnet ein neues Untersuchungsfeld für die Astrochemie: Wer sich für die kosmischen Ursprünge der organischen Vorläufermoleküle des Lebens interessiert, sollte tunlichst die unterschiedlichen Eigenschaften der Oberflächen kosmischer Staubkörner, ihre Wechselwirkungen mit dünnen Eisschichten und die Rolle näher in Augenschein nehmen, welche die Kombination von Stauboberflächen und Eis für die Synthese komplexer organischer Moleküle spielt.

Von der Physik zum Leben

In der Entstehungsgeschichte des Lebens, und damit auch unserer eigenen Geschichte, lassen sich grundlegende Schritte ausmachen, die von der Physik über die Chemie bis hin zur Biologie führen. Soweit wir wissen, fanden die frühesten biologischen Prozesse unserer eigenen Geschichte hier auf der Erde statt. Sowohl für die Physik als auch für die Chemie war das anders: Die meisten chemischen Elemente, darunter Kohlenstoff und Stickstoff, sind durch Kernfusion im Inneren von Sternen entstanden ("Wir sind Sternenstaub", englisch "We are star stuff", so das bekannte Zitat von Carl Sagan).

Im interstellaren Medium können sich organische Moleküle bilden, einschließlich jener, die für die Entstehung von Aminosäuren und letztlich unserer eigenen DNA notwendig sind. Bei den wenigen Gelegenheiten, bei denen es uns bisher gelungen ist, mithilfe von Sonden kosmischen Staub direkt zu analysieren, nämlich bei den Missionen Stardust und Rosetta, fanden sich komplexe Moleküle wie zum Beispiel die einfache Aminosäure Glycin. Im Laufe der Entwicklung eines Planetensystems können solche organischen Moleküle von Meteoriten und frühen Kometen auf Planetenoberflächen transportiert werden.

Wie sich diese Moleküle überhaupt bilden können, in den fast leeren Weiten zwischen den Sternen, ist keine einfache Frage. Im Weltraum sind die meisten Atome und Moleküle Teil eines extrem dünnen Gases, in dem kaum chemische Reaktionen stattfinden – ganz zu schweigen von den besonderen Reaktionen, die für die Entstehung komplexerer organischer Moleküle nötig sind.

Eisige Staubkörnchen-Laboratorien

In den 1960er Jahren begannen Astronomen, die sich für interstellare Chemie interessierten, die Idee zu entwickeln, dass interstellare Staubkörner als "interstellare Laboratorien" dienen könnten, in denen sich komplexere chemische Reaktionen abspielen. Solche Staubkörner, auf Kohlenstoff- oder Siliziumbasis, entstehen typischerweise in den äußeren Schichten kühler Sterne oder nach Supernova-Explosionen. In einer Wolke aus Gas und Staub würden dann entsprechend verschiedene Arten von Molekülen an den (kalten) Staubkörnchen haftenbleiben, und sobald hinreichend viele Moleküle zusammengekommen wären, liefen interessante chemische Reaktionen ab. Konkret würde es etwa 100.000 Jahre dauern, bis sich um ein Staubkorn ein Mantel aus Eis (hauptsächlich Wassereis, aber auch einige andere Eise aus Molekülen wie Kohlenmonoxid) gebildet hätte. Die Eisschicht könnte dann als winziges kosmisches Chemielabor dienen.

Astronomen, die sich für dieses Thema interessierten, erkannten bald, dass sie Experimente durchführen müssten, um ihre Beobachtungen von interstellaren Gaswolken richtig interpretieren zu können: Sie mussten eisbedeckte Staubkörner und deren Wechselwirkung mit Molekülen in Laboratorien hier auf der Erde untersuchen. Dazu verwendet man Vakuumkammern, in denen sowohl die Leere des Weltraums wie auch die richtigen Temperaturen simuliert werden. Da man damals davon ausging, dass die Chemie auf der Eisoberfläche das Entscheidende wäre, verwendete man in diesen Experimenten Eisschichten, aufgetragen auf eine gewöhnliche Oberfläche, etwa auf eine Kaliumbromid (KBr)-Kristallplatte oder eine Metalloberfläche. Aber das, so zeigen die jetzt veröffentlichten neuen Ergebnisse, kann allenfalls einen Teil der Antworten liefern.

Künstliche Staubkörner und ihr Eis

Sowohl die Planetenbildung als auch die Suche nach den Ursprüngen des Lebens sind zentrale Forschungsziele des Max-Planck-Instituts für Astronomie (MPIA). In beiden Fällen spielen eisige Staubkörner eine wichtige Rolle. Deshalb unterhält das MPIA seit 2003 eine Laborgruppe Astrophysik und Clusterphysik am Institut für Festkörperphysik der Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Zur Ausrüstung der Gruppe gehören Laser, mit denen sich künstliche Staubkörner erzeugen lassen. Zu diesem Zweck wird ein Laser auf eine Grafitprobe gerichtet und trägt dann winzige Partikel von deren Oberfläche ab. Der Partikeldurchmesser beträgt nur wenige Nanometer (wobei ein Nanometer ein Milliardstel Meter ist). Als Alexey Potapov von der Laborgruppe, Hauptautor der neuen Arbeit, und seine Kollegen solche künstlichen Staubkörner untersuchten und dabei verschiedene Arten von Eisbildung auf ihren Oberflächen herbeiführten, kamen ihnen Zweifel am Standardbild der Astrochemie auf dick von Eis ummanteltem Staub.

Kosmische Mini-Laboratorien sind verästelt und staubig

Die Forscher fanden bei Ihren Experimenten nämlich gerade keine Staubkörner, die wie eine Zwiebel vollständig mit mehreren Schichten festem Eis (Wassereis oder Kohlenmonoxid-Eis) bedeckt waren. Die von ihnen unter möglichst realistisch nachgebildeten Weltraumbedingungen im Labor erzeugten Staubkörner hatten stattdessen verästelte, komplizierte Formen.

Bei solchen Formen ist die Gesamtoberfläche viel größer (um den Faktor von einigen hundert) als bei einfacheren Formen. Das ist ein entscheidender Faktor bei Berechnungen dazu, wie sich die aus Beobachtungen erschlossene Menge an Wasser in Molekülwolken auf die Staubkörner solcher Wolken verteilen würde. Anstelle von Staubkörnern mit

geringer Oberfläche, die mit der verfügbaren Wassermenge vollständig von Eis bedeckt sein dürften, hat man es dann mit verästelten Staubgebilden mit extrem großer Gesamtoberfläche zu tun. Dann reicht die Wassermenge lediglich noch, an einigen Stellen dickere Schichten zu bilden, während an anderen Stellen nur eine einzige Schicht von Eiskristallen vorhanden ist.

Ein anderer Pfad hin zu Leben im Universum

Diese andere Art von Struktur hat tiefgreifende Folgen für die Rolle der eisigen Staubkörner als winzige kosmische Laboratorien. Chemische Reaktionen hängen von den Molekülen ab, die an der Oberfläche "hängen geblieben" sind, und davon, wie diese Moleküle sich bewegen (Dissipation), auf andere Moleküle treffen, reagieren, sich festsetzen oder wieder lösen können. Diese Umweltbedingungen sind in der neuen, verästelten, zum Teil nur von dünnem Eis bedeckten Version der kosmischen Laboratorien völlig anders.

Potapov sagt: "Für uns ist mit den Staubkörnern ein ganz neuer Mitspieler in die kosmische Astrochemie eingestiegen. Jetzt, wo wir wissen, dass er da ist, haben wir eine bessere Chance, die grundlegenden chemischen Reaktionen zu verstehen, die sich letztlich bis zur Entstehung von Leben im Universum verfolgen lassen sollten".

Außerdem gilt: Sind die Körner nicht unter dicken Eisschichten verborgen, sondern kommen zumindest einige der Moleküle direkt mit der Oberfläche in Kontakt, dann kann die Oberfläche als Katalysator wirken, sprich: durch ihre bloße Anwesenheit die Geschwindigkeit bestimmter chemischer Reaktionen verändern. Auf diese Weise würden bestimmte Reaktionen zur Bildung organischer Moleküle, etwa von Formaldehyd oder bestimmten Ammoniakverbindungen, allein aufgrund der geänderten Verhältnisse im kosmischen Mini-Laboratorium viel häufiger auftreten als ohne Katalyse. Beide genannten Reaktionen sind wichtige Vorläufer von präbiotischen Molekülen. Die Änderung der Reaktionsbedingungen könnte damit direkte Auswirkungen für eine Rekonstruktion der chemischen Vorgeschichte des Lebens auf der Erde haben.

Koautor und MPIA-Direktor Thomas Henning sagt: "Mit diesen Ergebnissen läuft die Suche nach dem Ursprung komplexer Moleküle im Weltraum in eine spannende neue Richtung. Wir haben dazu am MPIA gerade unser neues Labor 'Origins of Life' eröffnet, das genau auf diese neue Art der Forschung zugeschnitten ist".

Insgesamt stellen die neuen Ergebnisse, zusammen mit weiteren, ähnlichen Ergebnissen aus früheren Experimenten, einen Weckruf für die Gemeinschaft derer da, die in der Astrochemie forschen: Wer die chemischen Reaktionen im interstellaren Medium verstehen möchte, sollte tunlichst die einfachen Modell-Staubkörner mit ihren dicken Eis-Zwiebelschalen hinter sich lassen. Und sich stattdessen Gedanken über Staubkornoberflächen machen, und über die komplexe, verästelte Struktur der winzigen Chemie-Laboratorien in den Tiefen des Alls.

contact for scientific information:

Alexey Potapov

Telefon: +49 3641 947306

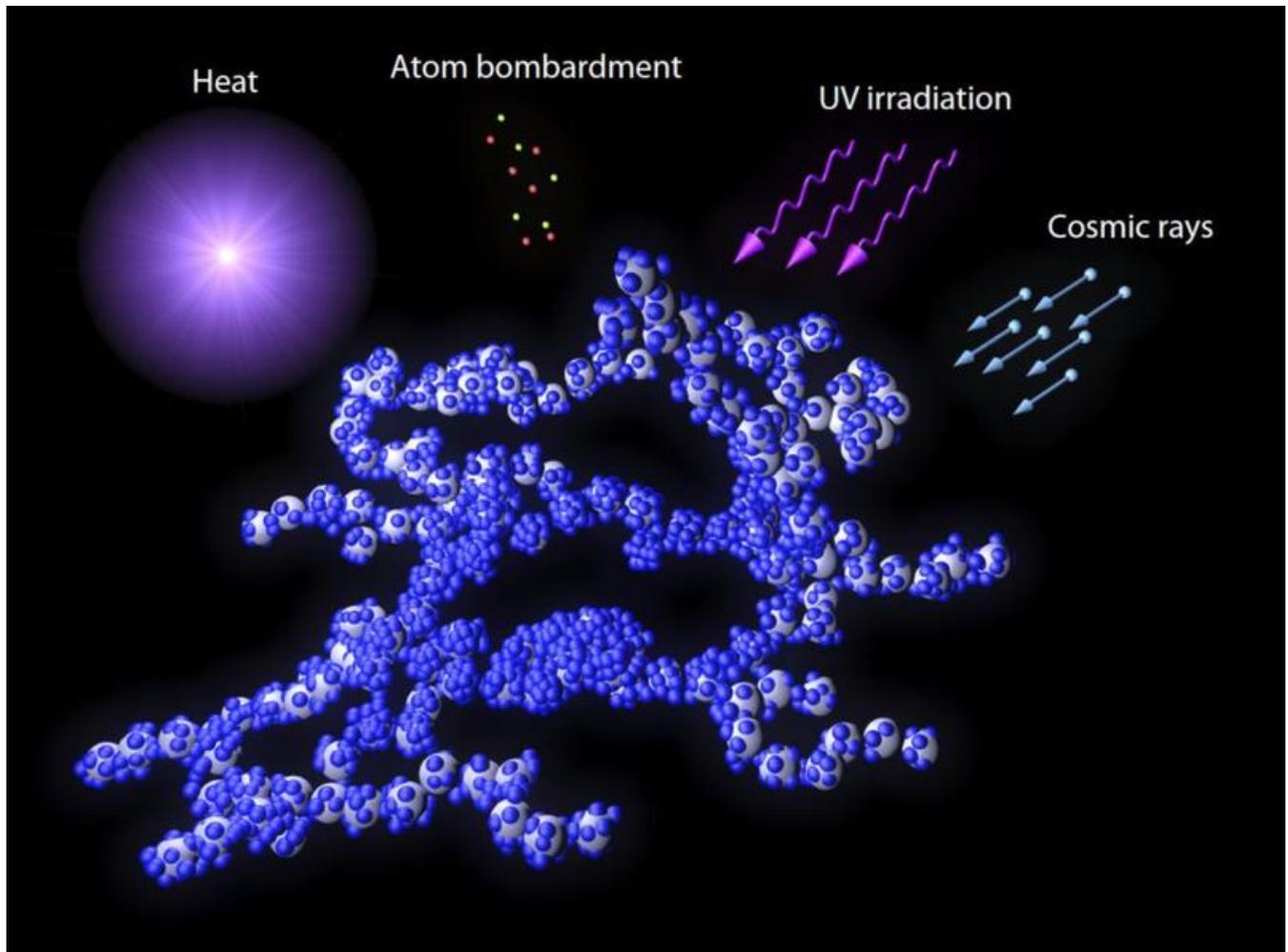
E-Mail: alexey.potapov@uni-jena.de

Original publication:

Alexey Potapov, Cornelia Jäger, and Thomas Henning, "Ice Coverage of Dust Grains in Cold Astrophysical Environments", Phys. Rev. Lett. 124, 221103 - <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.124.221103>

URL for press release: http://www.mpia.de/5110077/news_publication_14857558_transferred - Online-Version der Pressemitteilung

URL for press release: <https://physics.aps.org/articles/v13/91> - APS Physics Focus Story



Schematische Abbildung, die Staubkörner (in grau) gemischt mit Eismolekülen (in blau) zeigt, außerdem die wichtigsten äußeren Einflüsse, die für chemische Prozesse im Weltraum wichtig sind

A M Quetz / MPIA