

Pressemitteilung**Max-Planck-Institut für Astronomie****Dr. Markus Pössel**

25.03.2019

<http://idw-online.de/de/news712761>Forschungsergebnisse
Chemie, Physik / Astronomie
überregional**Tröpfchen für Tröpfchen kosmische Chemie simulieren**

Zwei Astronomen des Max-Planck-Instituts für Astronomie und der Universität Jena haben eine elegante neue Methode entwickelt, die es erlaubt, die Energie einfacher chemischer Reaktionen unter ähnlichen Bedingungen zu messen wie bei Atomen und Molekülen im frühen Sonnensystem. Die neue Technik verspricht genaue Messungen von Reaktionsenergien, anhand derer sich chemische Reaktionen unter Weltraumbedingungen besser verstehen lassen – auch Reaktionen wie jene, die dafür verantwortlich waren, organische chemische Stoffe als Ausgangsstoffe für die Entwicklung von Leben hervorzubringen.

Damit auf der Erde Leben entstehen konnte, waren zahlreiche Ausgangsstoffe in Form von komplexen organischen Molekülen nötig. Einige dieser Moleküle dürften sich bereits vor langer Zeit im Weltraum gebildet haben, während der Entstehung des Sonnensystems. Systematische Untersuchungen der dazu nötigen chemischen Reaktionen, die auf den unregelmäßigen Oberflächen von Staubteilchen stattfanden, sind allerdings schwierig, weil für eine Reihe der Reaktionen grundlegende Informationen zum Ablauf und zu den benötigten Energien fehlen: Welche Elementarreaktionen sind unter Einbeziehung welcher einzelnen Reaktionspartner möglich? Welche Temperatur ist erforderlich, damit eine Reaktion stattfinden kann? Welche Moleküle entstehen bei diesen Reaktionen? Jetzt haben Thomas Henning, Direktor am Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA), und Sergiy Krasnokutskiy von der Labor-Astrophysik-Gruppe des MPIA an der Universität Jena eine elegante Methode entwickelt, um solche elementaren Oberflächenreaktionen zu untersuchen – mit Hilfe winziger flüssiger Heliumtröpfchen.

Im frühen Sonnensystem, lange vor der Entstehung der Erde, fanden komplexe chemische Reaktionen statt, bei denen erhebliche Mengen an organischen Molekülen entstanden. Das kosmische Labor für diese chemischen Synthese wurde von Staubkörnern gebildet: Zusammenballungen vornehmlich von Silikaten und Kohlenstoff, bedeckt mit einem Eismantel. Deren vergleichsweise großen Oberflächen boten die richtigen Bedingungen auch für durchaus komplexe Reaktionen. In den Millionen von Jahren, die folgten, schlossen sich zahlreiche der Staubkörner zu noch größeren Strukturen zusammen, bis rund um die junge Sonne schließlich Planeten entstanden.

Die Grundstoffe für das Leben

Alle organischen Verbindungen, die auf den Oberflächen der derjenigen Staubkörner synthetisiert worden waren, aus denen die Planeten entstanden, wurden durch die unvermeidbare Hitze während der Planetenentstehung zerstört. Übrig blieben diejenigen Moleküle, die auf den Oberflächen der verbliebenen Staubteilchen, Kleinkörpern oder eisigen Kometenkernen entstanden waren. Einem Modell für die Entstehung des Lebens zufolge waren es diese kleineren Körper, welche chemische Grundlage für die Entstehung von Leben auf unserem Heimatplaneten schufen. Sobald die Erdoberfläche ausreichend abgekühlt war, sodass sich flüssiges Wasser bilden konnte, hätten Kleinkörper, die auf die Erde auftrugen, organische Moleküle auf die Erde getragen. Einige davon, deren Meteoriten zufällig in kleinen, warmen Teichen gelandet wären, hätten als Ausgangsstoffe für das erste Leben auf der Erde gedient.

Um die frühen chemischen Vorgänge in unserem Sonnensystem verstehen zu können, muss bekannt sein, wie derartige Reaktionen im Prinzip ablaufen. Benötigen bestimmte Reaktionen zum Beispiel eine bestimmte Aktivierungsenergie, um

ablaufen zu können? Welche Stoffe entstehen bei einer gegebenen Reaktion? Die Antworten auf diese und ähnliche Fragen entscheiden, welche Reaktionen unter welchen Bedingungen im frühen Sonnensystem ablaufen konnten. Sie sind der Schlüssel für eine realistische Rekonstruktion der chemischen Zusammensetzung des frühen Sonnensystems.

Datenknappheit für Tieftemperatur-Reaktionen auf Oberflächen

Leider gibt es nicht annähernd genügend Daten zu solchen Reaktionen. Stattdessen widmet sich ein wesentlicher Teil der chemischen Forschung der Untersuchung solcher Reaktionen in der Gasphase, in der die Atome und Moleküle frei schweben, kollidieren und Verbindungen eingehen. Aber die entscheidenden chemischen Reaktionen im Weltraum, die notwendig sind, um größere organische Moleküle zu bilden, finden unter ganz anderen Bedingungen statt – nämlich auf der Oberfläche von Staubkörnern, und bei tiefen Temperaturen.

Das ändert sogar die grundlegende Physik der Situation: Gehen Atome oder Moleküle eine Bindung ein, wird Energie freigesetzt. Kann diese Energie nicht an die Umwelt weitergegeben werden, wird das neue Molekül unter Umständen sehr schnell zerstört. Das verhindert, dass bestimmte Arten von Molekül in der Gasphase überhaupt entstehen. Auf einer Oberfläche oder in einem Medium kann solche Energie von der zusätzlich vorhandenen Umgebungsmaterie aufgenommen werden. Damit sind die Bedingungen für bestimmte Arten von Reaktionen, die Schritt für Schritt komplexe Moleküle bilden, unter solchen Verhältnissen viel günstiger.

Henning und Krasnokutskiy entwickelten eine elegante Methode für die Messung der Energetik solcher Reaktionen. Ihre Modelle der kosmischen Staubteilchen-Laboratorien sind winzige Heliumtröpfchen von wenigen Nanometern Größe, die in einem Hochvakuum umherschweben. Die an der Reaktion beteiligten Atome oder Moleküle werden als Gase in die Vakuumkammer geleitet. Dabei werden allerdings so kleine Mengen verwendet, dass die Heliumtropfen mit größter Wahrscheinlichkeit entweder ein einziges Molekül von jeder benötigten Art oder aber gar keines aufnehmen – auf keinen Fall jedoch mehrere. Die Heliumtröpfchen fungieren dabei als Medium das, ähnlich wie die Oberfläche eines Staubkorns, Reaktionsenergie absorbieren kann. Damit können Reaktionen unter ähnlichen Bedingungen wie im frühen Sonnensystem stattfinden. (Einige Unterschiede bestehen weiterhin – beispielsweise kann die Oberfläche eines Staubkorns auch eine katalytische Wirkung haben.)

Nanotropfen als Messgeräte

Darüber hinaus verwendeten die beiden Astronomen die Helium-Nanotropfen als Energiemessgeräte (Kalorimeter). Wenn Reaktionsenergie in den Tropfen freigesetzt wird, verdunsten einige der Heliumatome in einer vorhersagbaren Weise. Der verbleibende Tropfen ist nun kleiner als zuvor, und dieser Größenunterschied kann auf verschiedene Weisen gemessen werden: zum einen mit einem Elektronenstrahl (ein größerer Tropfen ist einfacher zu treffen als ein kleiner!), zum anderen durch eine präzise Messung des durch die Heliumtröpfchen an den Wänden der Vakuumkammer erzeugten Drucks (größere Tropfen erzeugen einen höheren Druck als kleinere).

Die beiden Astronomen konnten dabei die Genauigkeit erhöhen, indem sie ihr Verfahren mit gut untersuchten chemischen Reaktionen kalibrierten. Insgesamt bietet die neue Methode eine elegante neue Möglichkeit, den Entstehungsweg komplexer organischer Moleküle im Weltraum zu untersuchen. Das sollte es Forschern ermöglichen, mit größerer Sicherheit anzugeben, auf welche Ausgangsstoffe die Entstehung des Lebens auf der Erde zurückgreifen konnte.

Die ersten Messungen mit der neuen Technik bestätigten einen Trend, der bereits in anderen Experimenten der jüngeren Vergangenheit sichtbar wurde: Auf Oberflächen mit niedrigen Temperaturen sind Kohlenstoffatome überraschend reaktionsfreudig. Die Forscher stellten fest, dass eine überraschend hohe Anzahl – fast ein Dutzend – Reaktionen mit Kohlenstoffatomen barrierefrei verlaufen. Diese Reaktionen benötigen keine Energiezufuhr, um in Gang zu kommen, und können daher auch bei sehr niedrigen Temperaturen ablaufen. Offensichtlich führt die Kondensation von atomarem Gas auf Staubteilchen bei niedrigen Temperaturen so gut wie automatisch zur Bildung einer großen Vielfalt an

organischen Molekülen.

Diese Vielfalt bedeutet aber auch, dass die Moleküle jeder einzelnen Spezies sehr selten sein werden. Das könnte zur Folge haben, dass Astronomen die Menge an organischen Molekülen im Weltraum drastisch unterschätzen. Um Häufigkeiten zu schätzen, werden mit Hilfe astronomischer Beobachtungen die "optischen Fingerabdrücke" (Spektrallinien) jeder Molekülart gesondert gemessen. Darüber hinaus können unter solchen Bedingungen auch die charakteristischen Spektraleigenschaften der Moleküle (allgemeiner: von spezifischen Funktionsgruppen, die jeweils in einer Reihe unterschiedlicher Moleküle vorkommen) leicht verändert sein. Insgesamt würden Astronomen mithilfe der üblichen Spektralanalyse kaum Moleküle nachweisen – und doch könnte direkt unter der Nachweisgrenze eine komplexe Welt von Molekülen existieren, die ein erhebliches Reservoir an organischem Material darstellt.

Hintergrundinformationen

Die hier beschriebenen Forschungsergebnisse sind veröffentlicht als Henning, Th. & S. A. Krasnokutskiy 2019, "Experimental Characterization of the Energetics of Low-temperature Surface Reactions" in der Fachzeitschrift Nature Astronomy.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Sergiy Krasnokutskiy

Labor-Astrophysik-Gruppe des Max-Planck-Instituts für Astronomie an der Universität Jena

sergiy.krasnokutskiy@uni-jena.de

Originalpublikation:

<https://www.nature.com/articles/s41550-019-0729-8>

URL zur Pressemitteilung: <http://www.mpia.de/de/aktuelles/2019-02-helium-droplets> - Web-Version der Pressemitteilung