

letzten Jahren schnell gewachsenen Teilgebiet der Astronomie – eine enge Verknüpfung. Die relativen Häufigkeiten von Kohlenstoffmonoxid und Diazen zeigen dabei eine stark negative Korrelation, das heißt, dass Diazen nur in solchen Regionen vorkommt, in denen es kein gasförmiges Kohlenstoffmonoxid gibt. Durch die Beobachtung der Häufigkeit von N_2H^+ erzeugte das Forscherteam deshalb quasi ein Negativabbild der Häufigkeit von CO. Die starke N_2H^+ -Emission in Form eines Rings außerhalb von 30 AE ist somit ein eindeutiger Hinweis auf das Ausfrieren von Kohlenstoffmonoxid bei eben dieser Entfernung vom Protostern – gleichbedeutend mit der Schneelinie des CO.

Eine ähnliche Strategie zur direkten Abbildung der Schneelinie verfolgte auch ein anderes Forscherteam um Geoff Mathews von der Universität in Leiden. Sie machten sich dabei ALMA-Beobachtungen zu Nutze,

welche im Rahmen der Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des Observatoriums aufgenommen, und anschließend der gesamten astronomischen Gemeinde zur Verfügung gestellt werden.

Aldehyd-Region innerhalb der Schneegrenze

In so gewonnenen Daten der protoplanetaren Scheibe um den Stern HD 163296 suchte das Forscherteam gezielt nach der spektralen Signatur des deuterierten Aldehydkations DCO^+ . Darin ist gegenüber dem Aldehydkation HCO^+ das Wasserstoffatom H durch seinen schwereren Bruder Deuterium, D, ersetzt. Dessen komplexe chemische Zusammenhänge sorgen für eine lokale Anhäufung in einem relativ schmalen Streifen innerhalb der Schneegrenze von Kohlenstoffmonoxid. In der Tat konnten die Forscher in ihren Beobachtungen die erwartete ringförmige

Emission von HCO^+ finden und somit die CO-Schneelinie – gleichbedeutend mit der Außenkante dieses Rings – direkt abbilden (siehe Kasten auf S. 21).

Schneelinien in protoplanetaren Scheiben kommt vielfache Bedeutung zu. Sie erlauben nicht nur Einblicke in deren Temperatur- und Dichteverteilung. Vielmehr spielen sie eine wohl nicht zu unterschätzende direkte Rolle bei der Entstehung von Planeten. Zum einen vergrößern die Staubeilchen durch das Ausfrieren ihre Oberfläche. Ebenso erhöht sich durch den Eismantel die Wahrscheinlichkeit, dass die Staubeilchen koagulieren (zusammenbacken) und größere Komplexe bilden, anstatt bei Kollisionen lediglich aneinander abzurutschen oder sich eventuell sogar gegenseitig zu zerstören. Zum anderen bilden sich an der Innenseite der Schneelinie Regionen aus, in denen sich Staubeilchen effektiv ansammeln können. In aktuellen Modellen der Entstehung unseres Sonnensystems besteht zum Beispiel ein direkter Zusammenhang zwischen der Schneelinie des Wassers und der Bildung von Jupiter und Saturn. Die Entstehung von Uranus und Neptun könnte darüberhinaus mit dem Ausfrieren von Kohlenstoffmonoxid oder auch Methan einhergehen.

Nach Fertigstellung von ALMA wird es nicht nur möglich, die Schneelinien von Kohlenstoffmonoxid und anderen Molekülen quasi routinemäßig zu finden, sondern auch sich bildende Planeten direkt abzubilden. Solche Beobachtungen werden schließlich die heute gängigen Planetenentstehungstheorien auf den Prüfstand stellen und neue Kenntnisse über die Bildung von Planeten liefern. Schließlich hofft man sich auch neue Erkenntnisse über unser eigenes Sonnensystem, um damit ein weiteres Puzzleteil zur Lösung der Frage unserer eigenen Herkunft zu finden.

MARKUS SCHMALZL ist Postdoc bei »Allegro« (ALMA Local Expertise Group), einem Teil des europäischen ALMA Regional Centres.

ZUM NACHDENKEN

Schneelinie

Der orangefarbene T-Tauri-Stern TW Hydrae vom Spektraltyp K7 ist von einer protoplanetaren Scheibe umgeben. Das für die Interpretation der Beobachtungen mit ALMA (siehe Kurzbericht) verwendete Modell geht von einer Heizung der Staubscheibe durch Akkretion von weiter außen befindlichen Scheibenteilchen aus, wobei sich die Scheibe in einem Gleichgewichtszustand befindet, und durch die Strahlung des Sterns mit Masse M_* = $0,8 M_\odot$, Radius R_* = $1,04 R_\odot$ und Temperatur T_* = 4110 K. In der folgenden Abschätzung der Temperatur der Scheibe wird die viskose Reibung der Teilchen nicht berücksichtigt und ist daher in Wirklichkeit etwas höher. Die Sonnenmasse ist $M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30}$ kg, der Sonnenradius ist $R_\odot = 6,96 \cdot 10^8$ m.

Aufgabe 1: Durch Akkretion mit der Rate $\dot{M} = 2 \cdot 10^{-9} M_\odot/\text{a}$ entsteht in der Zentralebene der Scheibe die Leuchtkraft:

$$L_{\text{acc}} = \sigma T_{\text{acc}}^4 = \frac{3}{8\pi} G M_* \dot{M} r^{-3} \left(1 - \sqrt{\frac{R_*}{r}} \right).$$

Dabei ist $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ die Strahlungskonstante, $G = 6,6743 \cdot 10^{-11}$

$\text{m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ die Gravitationskonstante und $r = 30 \text{ AE}$ der Abstand vom Stern ($1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$). Man berechne Leuchtkraft L_{acc} und Temperatur T_{acc} .

Aufgabe 2: Die vom Stern durch streifende Beleuchtung mit der Kennzahl $\alpha \approx 0,4 R_*/r$ resultierende Leuchtkraft-erhöhung in der Zentralebene des Rings ist:

$$L_{\text{irr}} = \sigma T_{\text{irr}}^4 = \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\pi R_*^2}{\pi r^2} \sigma T_*^4.$$

Man berechne Leuchtkraft L_{irr} und Temperatur T_{irr} .

Aufgabe 3: Wie hoch ist die aus $L_{\text{ges}} = L_{\text{acc}} + L_{\text{irr}}$ folgende Gesamttemperatur T_{ges} ? Ist es unter den gegebenen Voraussetzungen bei r hinreichend kalt für das Ausfrieren von Kohlenstoffmonoxid (CO) bei 17 Kelvin? AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **13. November 2013** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern Preise verlost: siehe S. 109



Literaturhinweis

Qi, C. et al.: Imaging of the CO snow line in a solar nebula analog. In: Science 341, S. 630–632, 2013

Mathews, G. S. et al.: ALMA imaging of the CO snowline of the HD 163296 disk with DCO^+ . In: Astronomy & Astrophysics 557, A132, 2013