



# Die Geburt massereicher Sterne und das Jeans-Kriterium

Im Millimeter/Submillimeterbereich des elektromagnetischen Spektrums reicht der Blick bis tief in dichte Gas- und Staubwolken hinein. Das Interesse gilt dabei lokalen Verdichtungen, aus denen sich mancherorts Sterne bilden. Bislang gab es Untersuchungen nur auf größeren Skalen von mehr als 1000 Astronomischen Einheiten (AE) bis hin zu einem Parsec. Mit dem Teleskoparray ALMA gelangen nun Messungen mit Auflösungen besser als 50 AE.

**Aufgabe 1:** Henrik Beuther und Kollegen untersuchten die massereiche Sternentstehungsregion G351.77–0.54 im Sternbild Skorpion mit ALMA bei der Frequenz  $\nu = 230$  GHz. **a)** Welcher Wellenlänge  $\lambda$  entspricht dies? Es gilt  $\lambda \nu = c$ ; dabei  $c = 2,998 \cdot 10^5$  km/s die Lichtgeschwindigkeit. **b)** Die Basislänge des Antennenarrays erstreckte sich bis auf  $b = 16$  km. Zwischen Basislänge, Wellenlänge und Auflösung besteht der aus der Optik bekannte Zusammenhang  $\sigma = 1,22 \lambda/b$ . Wie groß war demnach die maximale Auflösung  $\sigma$  der Beobachtungen?

**Aufgabe 2:** Über die Distanz  $D$  von G351.77–0.54 besteht noch keine Klarheit. Zwei Werte sind in der Diskussion:  $D_1 = 1$  kpc und  $D_2 = 2,2$  kpc. Welche

Größe  $d_1$  beziehungsweise  $d_2$  (in Einheiten von AE) haben daher Strukturen, die bei der Auflösung  $\sigma$  sichtbar werden?

**Aufgabe 3:** Ist eine Gaswolke der Masse  $M$  im Energiegleichgewicht, dann gilt für sie der Virialsatz:  $2 E_{\text{kin}} = -E_{\text{pot}}$ . Die kinetische Energie ist  $E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} N k T$ , mit der Teilchenzahl  $N = M/\mu$  und der Gasteilchenmasse  $\mu = 2 m_{\text{H}}$  für Wasserstoffmoleküle und  $m_{\text{H}} = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg. Die Boltzmann-Konstante ist  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K. Für die potentielle Energie gilt:  $E_{\text{pot}} = -\frac{3}{5} G M^2/R$  mit der Gravitationskonstante  $G = 6,6743 \cdot 10^{-11}$  m<sup>3</sup>kg<sup>-1</sup>s<sup>-2</sup>. Für die Verdichtung mit Radius  $R$  gilt außerdem  $M = \frac{4\pi}{3} \rho R^3$ . Mit Hilfe des Virialsatzes lässt sich eine Gleichung für die Masse aufstellen – dies ist die Jeans-Masse  $M_J$  (siehe auch »Zum Nachdenken« in SuW 1/2003, S. 100 und 3/2003, S. 100, sowie S. 34 in diesem Heft). Ist die Masse der Verdichtung größer, so kollabiert dieser Wolkenteil.

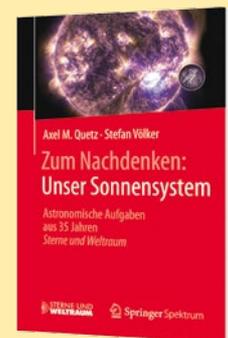
**Aufgabe 4:** Mit Hilfe ihrer Temperatur  $T = 53$  K und der mittleren Dichte  $\rho = 6,8 \cdot 10^{10}$  Wasserstoffmolekülmassen/cm<sup>3</sup> bestimme man die Jeans-Masse der Verdichtung mm<sub>1</sub> in G351.77–0.54. Aus weiter gehenden Betrachtungen finden Beuther und Kollegen bei mm<sub>1</sub> eine Masse von mindestens  $M_{\text{mm}_1} = 0,41 M_{\odot}$ . Kann in mm<sub>1</sub> demnach ein Stern entstehen? AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528–377. E-Mail: [zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de](mailto:zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de). Einsendeschluss ist der 8. November 2019.

Alle Leser, die bis einschließlich des Mai-Heftes 2020 mindestens neun richtige Lösungen senden, werden bei der jährlichen Verlosung berücksichtigt. Die Preise der laufenden Runde werden auf S. 101 vorgestellt.

Bitte beachten Sie unsere Teilnahmebedingungen auf Seite 18! Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de) kontaktieren.

## ZUM NACHDENKEN: Unser Sonnensystem



Das Buch enthält 119 Aufgaben und Lösungen der Rubrik »Zum Nachdenken« zum Sonnensystem.

368 Seiten. Preis: € 25. Bestell-Link: <https://amzn.to/2slyh6L>

hungsregion lässt sich dadurch mit einer Auflösungsgrenze von weniger als 20 AE untersuchen.

### Große Kerne – komplexe Physik?

Ein grundlegender Beitrag zur Theorie der Sternentstehung geht auf den britischen Astronomen James Jeans (1877–1946) zurück. Das nach Jeans benannte Kriterium konstatiert, unter welchen Voraussetzungen ein dichter Bereich innerhalb einer Molekülwolke instabil wird und zu einem oder mehreren Sternen kollabiert – nämlich dann, wenn der Druck des Gases nicht mehr imstande ist, die Region gegen die nach innen gerichteten

Schwerkraft zu stabilisieren. Eine einfache Rechnung führte James Jeans zu dem Ergebnis, dass das Gleichgewicht dieser Kräfte von der Temperatur und der Dichte des Gases abhängt (siehe SuW 1/2003, S. 100). Kennt man beide Größen, so lässt sich eine kritische Masse oder ein kritischer Radius angeben – die Jeans-Masse beziehungsweise Jeans-Länge einer idealisiert als kugelförmig angenommenen Molekülwolke – bei dessen Überschreiten die Region kollabiert. Sobald jedoch komplexere physikalische Phänomene in die Theorie fließen, sollten sich die kritischen Massen und Längen ändern. Insbesondere bei massereichen Molekülwolken wie

G351.77–0.54 könnten turbulente Gasströme dazu führen, dass bereits Kerne von geringeren Ausdehnungen destabilisiert werden und kollabieren.

### Ein Sternentstehungsgebiet in neuen Details

Im Rahmen ihrer Beobachtungen konnten Henrik Beuther und seine Kollegen in einem etwa 6000 AE × 6000 AE großen Ausschnitt der Sternentstehungsregion G351.77–0.54 zwölf verdichtete Strukturen identifizieren, deren größere sich über 200 bis 600 AE erstrecken. In den drei Strukturen mm<sub>1</sub>, mm<sub>2</sub> und mm<sub>12</sub> deuten Emissionslinien auf eine aktive Sternent-