

Fomalhauts Staubgürtel ist hier in einer kombinierten Aufnahme aus Bildern des Weltraumteleskops Hubble (blau) und des Radioobservatoriums ALMA (orange) dargestellt. Sie zeigt deutlich, wie schmal und scharf begrenzt der Staubring ist. Dies spricht für das Vorhandensein zweier Schäferhundplaneten.

ESO / NAOJ / NRAO / NASA / ESA

Kometenkollisionen und Schäferhundplaneten

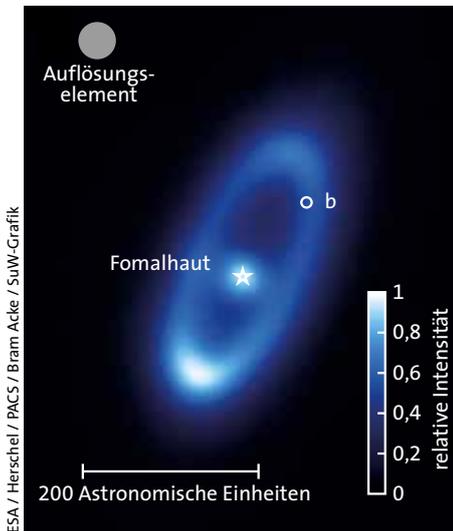
Neue Beobachtungen des Staubgürtels um Fomalhaut werfen Licht auf dessen Zusammensetzung und die mögliche Existenz von Planeten um diesen Stern. Bruchstücke tausender Kometenkollisionen, die dort täglich stattfinden, bilden den Gürtel. Seine Form deutet auf die Existenz von zwei erdgroßen Planeten hin.

Fomalhaut ist mit seinem Alter von rund 200 Millionen Jahren ein recht junger Stern mit der zweifachen Masse unserer Sonne. Er dient den Astronomen als Modell unseres Sonnensystems zu einem Zeitpunkt, als dieses nur rund ein Zwanzigstel des heutigen Alters hatte. Neue Aufnahmen des ESA-Weltraumteleskops Herschel zeichnen nun ein klareres Bild der chaotischen Vorgänge im Staubgürtel um Fomalhaut. Bis zu 2000 Kometen stoßen dort täglich zusammen und produzieren dabei den Staub des Gürtels. Beobachtungen mit dem Radioteleskop ALMA deuten zudem darauf hin, dass vermutlich zwei Planeten den Ring durch ihre Schwerkraft in seiner Form beeinflussen (siehe Bild oben und S. 24 oben links).

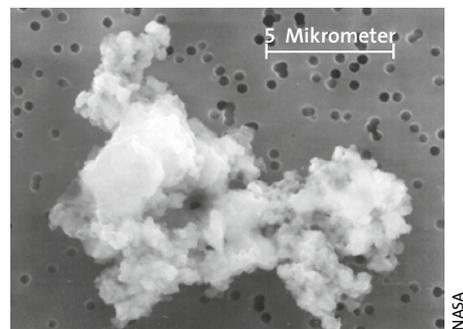
Seit mehr als 30 Jahren untersuchen Astronomen den Staubring mit seinem Durchmesser von rund 280 Astronomischen Einheiten. Erstmals registrierte das Weltraumobservatorium IRAS in den 1980er Jahren eine unerwartet starke Infrarotstrahlung um den Stern (Infrarotexzess genannt), ein untrügerisches Anzeichen für die Existenz großer Staubmengen, die das Licht des Sterns erwärmt. Beobachtungen im sichtbaren Licht mit dem Weltraumteleskop Hubble im Jahr 2005 zeigten ein schärferes Bild des Staubrings (siehe SuW 2/2006, S. 22, 1/2009, S. 26, und 3/2011, S. 26). Forscher schlossen aus diesen Aufnahmen, dass der Staubring vor allem aus relativ großen Staubpartikeln besteht. Größere Körner streu-

en weniger Sternenlicht als kleinere, und im sichtbaren Licht leuchtet der Staubgürtel vergleichsweise schwach. Nach Untersuchungen mit Hilfe der Hubble-Bilder müssten die Partikel im Durchschnitt rund 50 Mikrometer groß sein.

Die neuen Aufnahmen des Weltraumteleskops Herschel widersprechen nun aber diesem Bild der relativ großen Staubkörner. Herschel beobachtete den Staubring um Fomalhaut in fünf Wellenlängenbereichen im fernen Infrarot zwischen 70 und 500 Mikrometer. Danach können die Staubpartikel nur wenige Mikrometer groß sein – ein Zehntel der mit Hubble bestimmten Größe. Doch auch das bringt die Wissenschaftler wieder in Erklärungsnot: Der Strahlungsdruck des Sterns würde



Den Staubgürtel um den Stern Fomalhaut zeigt das Infrarotbild des Weltraumteleskops Herschel bei einer Wellenlänge von 70 Mikrometern. Die Exzentrizität des Gürtels lässt sich daran erkennen, dass der Stern nicht genau im Zentrum des Rings steht. Da sein Südteil näher am Stern liegt, ist er wärmer und leuchtet heller im Infrarotlicht. In der Falschfarbenaufnahme ist dies als weißer Fleck zu sehen. Der Ort des unbestätigten Planetenkandidaten Fomalhaut b ist markiert.



Solche porösen Staubkörner lassen sich in der irdischen Stratosphäre einsammeln und sind interplanetaren Ursprungs. Ähnliche Staubkonglomerate treten offenbar auch im Fomalhautsystem auf.

derart kleine Staubpartikel schnell aus der Umgebung des Sterns herausschleppen und müsste somit den Ring effizient abtragen – es sollte ihn also gar nicht geben.

Ein Astronomenteam um Bram Acke vom Astronomischen Institut der Katholischen Universität im belgischen Löwen bieten in ihrer Veröffentlichung eine einfache Erklärung, welche die scheinbaren Widersprüche miteinander vereinen kann. Mit porösen Staubteilchen, die aus wenige Mikrometer großen Einzelkörnern zusammengesetzt sind, lassen sich alle Beobachtungen erklären. Das Abstrahlungsverhalten wird von den kleinen Einzelkörnern bestimmt und erklärt die Beobachtungen mit dem Weltraumteleskop

Herschel. Die Lichtstreuung hingegen ist durch die Gesamtgröße der porösen Staubkonglomerate festgelegt und begründet so die Beobachtungen von Hubble. Zudem sind die Partikel groß genug, um dem Strahlungsdruck länger zu widerstehen.

Poröse Staubteilchen gibt es auch in unserem Sonnensystem: Sie entstehen offenbar nur bei der Kollision von Kometen mit ihresgleichen (siehe Bild oben rechts). Zusammenstoßende Asteroiden hingegen produzieren andere Partikel und können den Staubring um Fomalhaut deshalb nicht erklären.

Acke und seine Kollegen berechneten die Staubmenge, die jeden Tag um den Stern produziert werden muss, damit sie

den erwarteten Verlust durch den Strahlungsdruck ausgleicht. Die Forscher kommen auf das Äquivalent von täglich rund 2000 Zusammenstößen zwischen Kometenkernen von je einem Kilometer Durchmesser. Demnach wäre das junge Fomalhautsystem ein wahrhaft chaotischer Ort! Die Gesamtzahl der dortigen Kometen berechneten die Wissenschaftler zu 100 Milliarden bis 10 Billionen, je nach angenommener Größe der Kometen. Damit beträgt die Gesamtmasse des Staubgürtels um Fomalhaut rund 110 Erdmassen. Der Ring ist mit dem Kuipergürtel im jungen Sonnensystem vergleichbar, aus dem Pluto und weitere Zwergplaneten jenseits von Neptun entstanden.

ZUM NACHDENKEN

Der Staubring um Fomalhaut



Der junge Stern Fomalhaut ist von einer Staubscheibe mit dem Radius $R = 141,4$ AE umgeben bei einer Ringbreite von $B = 14,4$ AE. Die Staubtemperatur maßen die Astronomen mit ALMA zu $T_S = 48$ Kelvin ($1 \text{ AE} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m}$).

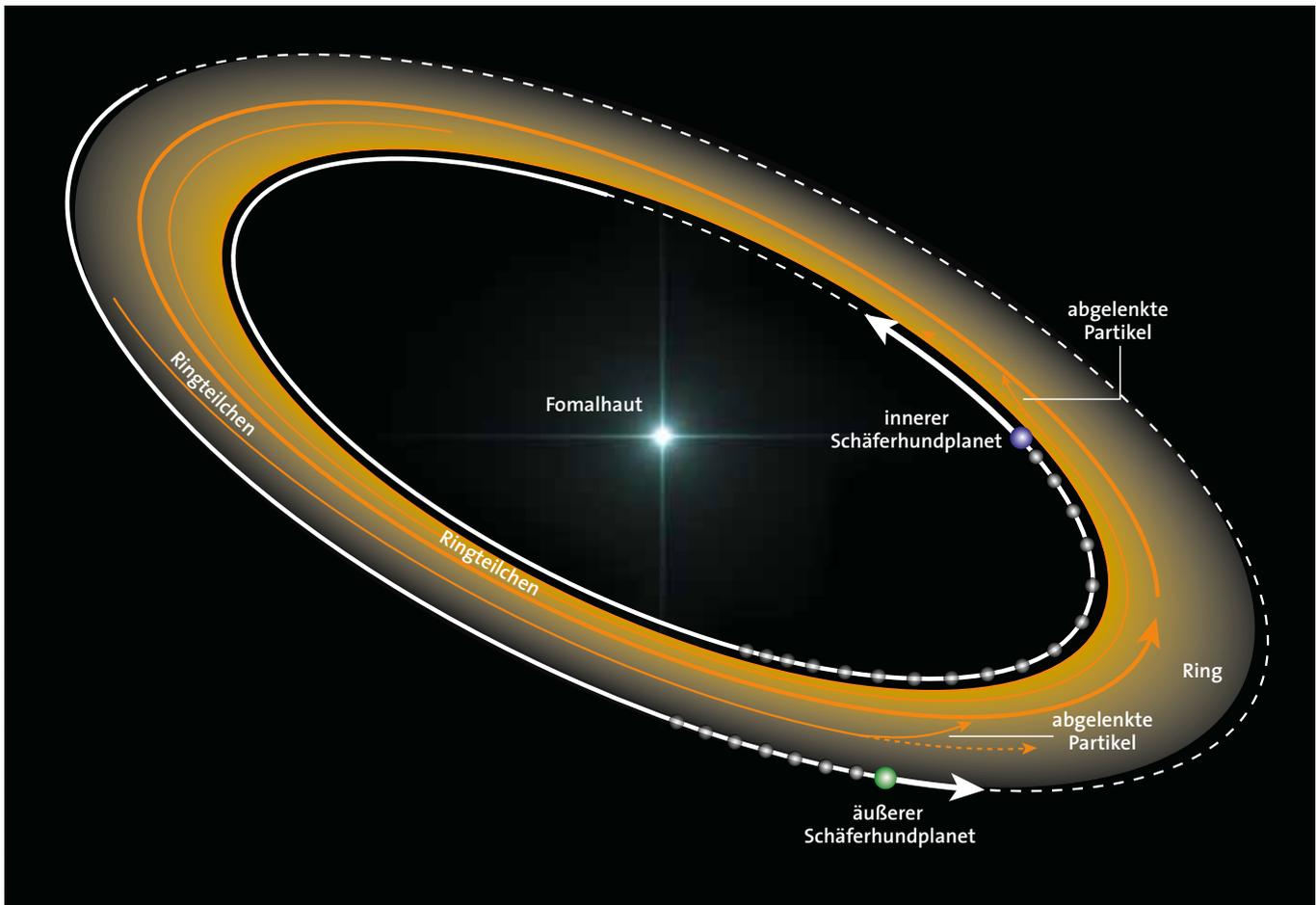
Aufgabe 1: Man bestimme die Leuchtkraft des Rings L_{Ring} zunächst unter der Annahme, dass seine Fläche A_{Ring} komplett mit Staubteilchen abgedeckt sei. Dies gelingt mit Hilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes: $L_{\text{Ring}} = A_{\text{Ring}} \sigma T_S^4$ ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

Aufgabe 2: Fomalhaut steht in der Entfernung $d = 7,685 \text{ pc}$ ($1 \text{ pc} = 3,086 \cdot$

10^{16} m). Man berechne **a)** den auf der Erde eintreffenden Fluss $S_{\text{Ring}} = L_{\text{Ring}} / (4 \pi d^2)$. **b)** Die ALMA-Beobachtungen erfolgten bei der Frequenz $\nu = 357 \text{ GHz}$ und einer Bandbreite von $\Delta\nu = 4 \cdot 1875 \text{ MHz}$. Dieses Band von $\nu_1 = \nu - \Delta\nu/2$ bis $\nu_2 = \nu + \Delta\nu/2$ enthält den Anteil $q = 4,726 \cdot 10^{-4}$ des bei der Temperatur T_S als Schwarzer Körper strahlenden Staubs. Man ermittle den Fluss $B_{\text{Ring}} = S_{\text{Ring}} q$, den der Staubring demnach bei der Erde produziert. **c)** Der von ALMA tatsächlich gemessene spektrale Fluss des Staubbrings ist $F_{sA} = 84 \text{ Millijansky (mJy)}$, $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W Hz}^{-1} \text{ m}^{-2}$). Man berechne den Fluss B_A durch Multiplizieren des spektralen Flusses mit der Bandbreite: $B_A = F_{sA} \Delta\nu$.

Aufgabe 3: **a)** Durch den Vergleich des Flusses B_{Ring} von der als geschlossen gedachten Ringfläche mit B_A lässt sich der Füllfaktor f berechnen und damit der Anteil, den die Staubteilchen mit Radius $s = 1 \text{ mm}$ tatsächlich ausfüllen. **b)** Für die Dichte $\rho = 2,5 \text{ g/cm}^3$ berechne man die Staubmasse des Rings und vergleiche mit der Erdmasse $m_E = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. August 2012** 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



Die Aufnahmen des im Bau befindlichen Radioobservatoriums ALMA in der chilenischen Atacamawüste bilden andere Staubbestandteile um Fomalhaut ab. Das Teleskop sieht rund einen Millimeter große Körnchen am deutlichsten. Deren Bahn ist vor allem von der Schwerkraft gesteuert, da sie der Strahlungsdruck des Sterns kaum bewegt. Die Temperatur der großen Staubeilchen liegt nach den Berechnungen eines Forscherteams um Aaron Boley von der University of Florida bei rund -225 Grad Celsius (rund 48 Kelvin). Auf den ALMA-Bildern zeigt sich der Ring erstaunlich schmal sowie innen und außen scharf begrenzt. Lediglich rund 16 Astronomische Einheiten ist er breit; gemessen am rund neunmal so großen Radius ist das ziemlich wenig. Auffällig ist auch seine hohe Exzentrizität von $e = 0,1$ (siehe Bild oben und S. 24 oben links).

Spuren von zwei Planeten

All das deutet auf die Schwerkraftwirkung von mindestens einem Planeten hin. Im Jahr 2008 verkündeten Astronomen die Entdeckung des Planeten Fomalhaut b auf Hubble-Bildern. Doch bereits drei Jahre später wurde die Datendecke für diesen Planeten dünner, denn er zeigte er

sich nicht in Infrarotaufnahmen des Weltraumteleskops Spitzer. Zur Zeit wird er als unbestätigter Kandidat betrachtet, und nicht alle Astronomen sind von seiner Existenz überzeugt.

Die ALMA-Aufnahmen lassen sich am besten durch die Anwesenheit von zwei Planeten im Fomalhautsystem erklären, die den Ring innen und außen begleiten. Wie die Schieferhundmonde des Saturns würden diese Schieferhundplaneten die Form des Rings durch ihre Schwerkraft stabilisieren. Der Kandidat wurde am Innenrand gesichtet. Boyle und seine Kollegen simulierten Fomalhauts Stabring unter dem Einfluss verschiedener Planetenpaare und fanden heraus, dass beide Planeten jeweils weniger als drei Erdmassen oder aber extrem unterschiedliche Massen haben müssten. Besteht das Paar aus einer Supererde und einem marsgroßen Planeten, so ergibt sich in der Simulation der schmalste Ring (siehe Bild oben).

Es ist also wohl nur eine Frage der Zeit, bis Astronomen dem jungen Sternsystem Fomalhaut weitere Geheimnisse abringen und sie eindeutige Beweise für die Existenz möglicher Planeten finden. Diesem Ziel sind sie jetzt einen Schritt näher gekommen.

BENJAMIN KNISPEN

Vermutlich zwei Schieferhundplaneten beeinflussen die Form des Rings um Fomalhaut und führen zur scharfen inneren und äußeren Begrenzung. Der innen schneller laufende Planet überträgt Energie auf Ausreißerteilchen und bugsiert sie so zurück in den Ring. Der außen langsamer laufende Planet bremst aus dem Ring geworfene Teilchen ab und bringt sie wieder auf eine engere Bahn.

Literaturhinweise

Acke, B., et al.: Herschel images of Fomalhaut – an extrasolar Kuiper belt at the height of its dynamical activity. In: *Astronomy & Astrophysics* 540, A125 (2012)

Boley, A. C. et al.: Constraining the planetary system of Fomalhaut using high-resolution ALMA observations. In: *The Astrophysical Journal Letters* 750, L21 (2012)