



## Protoplanetare Scheibe

Die Heidelberger Astrophysiker Sebastian Wolf und Hubert Klahr berichten auf den Seiten 22–30 in diesem Heft von ihren Simulationen zur Planetenentstehung. So erscheint immer klarer das Bild einer zirkumstellaren, dünnen Scheibe aus Gas

und Staub, aus welcher die Planeten durch Aufsammeln der sie umgebenden Materie entstehen. Offenbar räumen sie dabei entlang ihrer gesamten Bahn die Scheibe bis zu einer Breite von 1 AE bzw. 5 Hill-Radien frei. Das Material sammelt sich zuvor

### Lösung der Aufgabe aus dem Dezember-Heft 2005

**Aufgabe 1:** Nach Einstellen der Gleichgewichtstemperatur  $T_E$  gilt offenbar:

$$S F_Q (1 - A) = F_O \sigma T_E^4.$$

Daraus folgt die gesuchte Temperatur wegen  $F_O/F_Q = 4$  (die 4 fiel in der Aufgabenstellung leider einem Druckfehler zum Opfer) zu:

$$T_E = \sqrt[4]{\frac{S(1-A)}{4\sigma}} = 255 \text{ K},$$

etwa  $-18^\circ\text{C}$ . Dies ist deutlich niedriger als beobachtet.

**Aufgabe 2:** Mit der Hilfe der Graphiken (Heft 12/2005, S. 100) lässt sich ein etwas verbessertes Atmosphärenmodell aufstellen, welches eine IR-absorbierende Schicht besitzt. Für diese Schicht gilt die Bilanzgleichung:

$$\frac{S}{4} + \sigma T_B^4 = A \frac{S}{4} + (1 - A) \frac{S}{4} + 2 \sigma T_A^4.$$

Eliminiert man alles Überflüssige, so

bleibt:

$$T_B^4 = 2 T_A^4. \quad (1)$$

Die Bilanzgleichung der Strahlungsflüsse für den Erdboden lautet:

$$(1 - A) \frac{S}{4} + \sigma T_A^4 = \sigma T_B^4. \quad (2)$$

Da die Gleichungen (1) und (2) nach Einsetzen der jeweiligen Temperaturgleichgewichte simultan gültig sind, ergibt sich schließlich:

$$T_B = \sqrt[4]{\frac{S(1-A)}{2\sigma}} = 303 \text{ K}.$$

Unser im Vergleich zur komplexen Realität doch recht primitives Atmosphärenmodell findet für den Treibhauseffekt den (deutlich zu hohen) Wert  $T_B - T_E = 48 \text{ K}$ . Tatsächlich werden immerhin  $33 \text{ K}$  gemessen.

**Zusatzaufgabe:** Mit  $dG/dT = 4 \sigma T_m^3$  folgt für eine Verdopplung der  $\text{CO}_2$ -Konzentration  $K$ :

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. Februar** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: (+49)0 6221-528-246.

◀ Abb.: Künstlerische Darstellung einer protoplanetaren Scheibe, in der sich an drei Stellen Planeten bilden, die im Infraroten deutlich hervortreten. Das Rendering lehnt sich an die auf Seite 28 (Abb. 6) gezeigte Computersimulation an.

in einer kleinen, den Protoplaneten umgebenden, vergleichsweise kleinen Scheibe, die mitsamt dem Planeten das Zentralgestirn umrundet. Auf der nebenstehenden Abbildung sind drei solcher planetarer Akkretionsscheiben dargestellt (rot).

Beim Aufsammeln wird potentielle Energie frei, wodurch sowohl die Scheibe als auch der wachsende Planet aufgeheizt werden. Dieser Prozess dauert etwa  $\tau = 10$  Millionen Jahre. Danach gelangt kein weiteres Scheibenmaterial in die Einfluss-sphäre des Planeten. Die aufgesammelte Energie wird allmählich wieder abgestrahlt.

**Aufgabe 1:** Die in der Akkretionsphase freigesetzte potentielle Energie  $E$  bei der Bildung eines Planeten der Masse  $M$  und des Radius  $R$  ist:

$$E = \frac{3}{5} \frac{G M^2}{R}. \quad (1)$$

Man berechne die mittlere Leuchtkraft  $L$  für einen jupiterähnlichen Planeten der Masse  $M = 1.9 \cdot 10^{27} \text{ kg}$  und Radius  $R = 71\,492 \text{ km}$ . Die Gravitationskonstante ist  $G$

$$\begin{aligned} \Delta T &\approx dT = (4 \sigma T_m^3)^{-1} dG \\ &\approx (4 \sigma T_m^3)^{-1} \alpha \ln K/K_0 \\ &= 0.69 \text{ K}. \end{aligned}$$

Dies entspricht einer Verstärkung des Treibhauseffektes um 2%! AMQ

### Richtige Lösungen sandten ein:

Eva Ponick, D-38678 Clausthal-Zellerfeld; Ulrike Saher, D-40629 Düsseldorf; Katrin Stauch, D-01640 Coswig; Irina Thurner, D-86420 Diedorf; Christine Zerbe, D-86179 Augsburg; M. Baldus, D-59519 Möhnesee; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, D-86356 Neusäß / OT Steppach; G. Breitkopf, D-13156 Berlin; H. Brockmann, D-78315 Radolfzell; W. Christ, D-65824 Schwalbach; K. Clausecker, D-74219 Möckmühl; R.-R. Conrad, D-31275 Lehrte; A. Dannhauer, D-38871 Ilsenburg; J. Döblitz, D-70619 Stuttgart; A. M. Duffer, D-83334 Inzell; H. Duran, CH-5300 Turgi; E. Edler v. Malyevacz, D-70825 Korntal-Münchingen; H. Eggers, D-31311 Uetze; R. Fischer, D-50858 Köln; G. Forster, D-69120 Schwalbach; M. Geisel, D-79540 Lörrach; J. Glattkowski, D-76571 Gaggenau; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; A. Güth, D-73078 Boll; R. Guse, D-31228 Peine; A. Haag, D-63110 Rodgau; J. Haller, D-51379 Leverkusen; J. Hampf, D-91056 Erlangen; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; H. Hauser, D-89275 Elchingen; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; A. Huss, D-70599 Stuttgart; B. Hußl, A-4542 Nußbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; M. Juhl, D-73527 Täferrot; G. Junge, D-04600 Altenburg; H. Kamper, D-89520 Heidenheim; S. Kassam, D-60431 Frankfurt/M.; J. E. Keller, D-68775 Ketsch; L. Kirschhock, D-92237 Sulzbach-Rosenberg; Chr. Kleinschmidt, D-53229 Bonn; F.-G. Knell, D-63457 Hanau; K.-M.

=  $6.672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ , die große Bahnhalbachse ist  $a = 5.2 \text{ AE}$ .

**Zusatzaufgabe:** Man leite Gleichung (1) her. Dazu integriere man die Differentialgleichung

$$dE = \frac{Gm}{R(m)} dm,$$

die beschreibt, wie einem Körper der Masse  $m$  die kleine Masse  $dm$  hinzugefügt wird, wobei er die kleine Energie  $dE$  gewinnt, unter Annahme konstanter Dichte  $\rho$ .

**Aufgabe 2:** Welche Temperatur  $T$  stellt sich ein, wenn der Protoplanet die gewonnene Energie  $E$  gemäß einem Schwarzen Körper über seine Oberfläche gleichmäßig wieder abgibt? Die Stefan-Boltzmann-Konstante ist  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ .

**Aufgabe 3:** Mit Hilfe des Wienschen Verschiebungsgesetzes

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2898 \mu\text{m}}{T/\text{K}}$$

bestimme man die Wellenlänge  $\lambda_{\text{max}}$  des Emissionsmaximums bei der in Aufgabe 2 berechneten Temperatur  $T$ .

**Aufgabe 4:** Die Dauer der Akkretion für jupiterähnliche Planeten (große Halbachse  $a$ , Endmasse  $M$ ; Eiichiro Kokubo und Shigeru Ida, 1995) ist gegeben durch:

$$t_{\text{grow}} = 9 \cdot 10^5 (M/10^{23} \text{ kg})^{1/3} (a/5 \text{ AE})^2 \text{ a.}$$

Man vergleiche mit der weiter vorne gemachten Angabe von 10 Millionen Jahren. **AXEL M. QUETZ**

Köppel, D-47805 Krefeld; H. Kuchler, A-8960 Öblarn; H.-P. Lange, D-85376 Massenhausen; S. Laudwein, D-33615 Bielefeld; M. Leinweber, D-35435 Wettenberg; A. Leonhardt, D-90559 Burghann; B. Leps, D-13507 Berlin; A. Lichtfuß, D-93161 Sinzing; R. Lühmann, D-78476 Allensbach; W. Mahl, D-71254 Ditzingen; P. Matzik, D-51399 Burscheid; N. Mayer, D-12205 Berlin; M. Mendl, D-85567 Grafing b. München; F. Moser, D-47167 Duisburg; K. Motl, D-82538 Geretsried; S. Mrozek, D-25358 Horst; Chr. Netzel, D-52080 Aachen; J. Nußbaum, D-80689 München; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; J.-F. Pittet, D-88677 Markdorf; G. Portisch, D-75015 Bretten; R. Prager, A-2230 Gänserndorf; H. Prange, D-57250 Netphen; M. Rößner, D-86391 Stadthagen; K. Rohe, D-85625 Glonn; A. Schäfer, D-71711 Steinheim/Murr; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; N. Scherer, D-76137 Karlsruhe; J. Schermer, D-12687 Berlin; R. H. Schertler, A-5280 Braunau am Inn; M. Schiffer, D-88662 Überlingen; B. Schmalfeldt, D-21521 Aumühle; M. Schneider, D-63533 Mainhausen; G. Scholz, D-73457 Essingen; P. J. Schüngel, CH-8105 Regensdorf ZH; M. Senkel, D-85614 Kirchseeon; R. Stahlbaum, D-38124 Braunschweig; K. Stampfer, D-86486 Bonstetten; A. Stefanescu, D-80807 München; P. Stoffer, CH-3507 Biglen; A. Thiele, D-52066 Aachen; A. Trutschel-Stefan, D-83714 Miesbach; G. Tyczkowski, D-47057 Duisburg; G. Wahl, D-88453 Erolzheim; H.-G. Wefels, D-47239 Duisburg; H. Wember, D-22525 Hamburg; A. Wendt, D-69488 Birkenau; R. Wetzel, D-49076 Osnabrück; B. Wichert, D-21629 Neu Wulmstorf; G. Woysch, D-70435 Stuttgart; M. Ziegler, A-2460 Bruckneudorf; Chr. Zorn, D-70825 Korntal-Münchingen; W. Zumann, D-86163 Augsburg.

Insgesamt 97 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.

## Kreuzworträtsel

VON FRED GOYKE

Linsensystem m. unendl. Brennw.	stören bei der Astro-photographie		Lichtsaum		ehemalig. Direktor d. Göttinger Sternw.	deutsches Satellitenkontrollzentrum		Teil einer Sonnenuhr		umkreist den Asteroiden Sylvia
6						süd-amerik. Vulkan (Cerro ...)		nördl. Jupiterband (Abk.)		5
			europ. Forschungsbeirat		japan. Planeten-sonde					
Sonnenzykluslänge (in Jahren)	Esa-Technologiezentrum		4					natürlicher Satellit		Sternbild mit den Hyaden (lat. Bez.)
Al Nairs Sternbild (lat. Bez.)					früheres Zeitzeichen		kanad. Satellit (Sternhelligkeit)			
Plejadenstern	geplantes Großteleskop			Wintersternbild		7			Eros-sonde	8
	2						Edelgas (Symbol)		kurze Zeitspanne	
Computerschnittstelle				Kfz.-Kennzeichen f. Emsland		M 16 (...nebel)		3		
Kfz.-Kennzeichen f. Goslar			Asteroid Nr. 3103, Nebenfl. der Donau						intern. astron. Vereinigung	1
Fabry-Pérot-Interferometer						9	Planet			

Lösung des Kreuzworträtsels aus SuW 12/2005

M	S	K	N	I						
M	I	R	A	C	H	E	L	A	R	A
I	H	A	R	P	S	E	S			
E	N	T	E	N	T	A	N	T		
B	U	G	I	K	U	I	P	E	R	
L	I	B	S	E	N	E	O			
V	E	R	N	E	P	E	X	O		
R	D	F	L	A	T	Z	U			
R	U	T	H	E	A	T	O	M		
I	R	A	S	D	R	A	N	A		



lenträgern sehen das komplette Gesichtsfeld). Viel Spaß beim Knobeln! Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 12/2005 lautet: **Daemmerung**. Der glückliche Gewinner des Feldstechers Bresser Cobra 8x32 (bei 87 richtigen Einsendungen) ist: **Bruno Guigas**, Ernst-Renz-Str. 16, D-76646 Bruchsal.

**Kreuzworträtsel.** Die eingekreisten Buchstaben bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum **15. Februar** auf einer **Postkarte** an die **Redaktion** einsenden, verlosen wir ein Bresser Cobra 8x32, gestiftet von Fa. Meade, mit neuartigem Linsensystem, BK-7-Glas, Mehrschichtvergütung, Gummiaugenschellen und LE-Okularen (auch Brillenträgern sehen das komplette Gesichtsfeld). Viel Spaß beim Knobeln! Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 12/2005 lautet: **Daemmerung**. Der glückliche Gewinner des Feldstechers Bresser Cobra 8x32 (bei 87 richtigen Einsendungen) ist: **Bruno Guigas**, Ernst-Renz-Str. 16, D-76646 Bruchsal.

### »Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich das aktuelle »Zum Nachdenken« auf der Homepage von SuW [www.suw-online.de](http://www.suw-online.de) als PDF finden. Ältere Fassungen → SuW-Archiv → Zurückliegende Ausgaben.

### Einsendungen

- Lösungen werden nur auf Papier – Brief oder Fax – akzeptiert, auf keinen Fall jedoch per E-Mail.
- Die Redaktion empfiehlt, Namen und Anschrift immer auf dem Lösungsblatt zu notieren.
- Lösungen, die nach dem angegebenen Stichtag eintreffen, können leider nicht berücksichtigt werden.

### Die 25. Runde

Mit der Aufgabe im Juni-Heft 2005 begann die 25. Runde *Zum Nachdenken*. Alle Löser mit wenigstens neun richtigen Einsendungen aus den zwölf bis inklusive Mai 2006 erscheinenden Aufgaben in »Zum Nachdenken« werden bei der Verlosung im Sommer 2006 berücksichtigt. Zu gewinnen gibt es u.a. Freiabos und als attraktiven Hauptpreis ein Meade DS-2070AT im Wert von 299 €, gestiftet von Fa. Meade Instruments Europe. Viel Spaß beim Nachdenken und viel Erfolg beim Lösen!

### Hauptpreise

Mit dem **Coronado PST** ist Sonnenbeobachtung für Jedermann möglich. Der 40-mm-Refraktor im Wert von 629 € enthält einen gekapselten H $\alpha$ -Filter mit der Halbwertsbreite von besser als einem Ångström, mit dem sich die Sonnenoberfläche im Licht der Wasserstofflinie erkunden lässt. Das Öffnungsverhältnis des Geräts ist  $f/10$ . Optional sind ein Tischstativ und zum optimalen Schutz des PST auch ein stabiler Transportkoffer erhältlich. Gestiftet von Fa. Meade Instruments Europe, [www.meade.de](http://www.meade.de).



Das **7x50-Fernglas New Ascot** von Vixen im Wert von 169 € besitzt multivergütete Objektive und Okulare für hohen Bildkontrast, BaK4-Porro-Prismen für hohe Bildschärfe sowie asphärische Optik für geringe Verzeichnung und hohe Randschärfe. Die Austrittspupille beträgt 7.1 mm, das Gesichtsfeld 6°4. Serienmäßiger Stativanschluss. Tragetasche, Riemen und Deckel sind im Lieferumfang enthalten. Gestiftet von Fa. Vixen Europe, [www.vixen-europe.com](http://www.vixen-europe.com).

