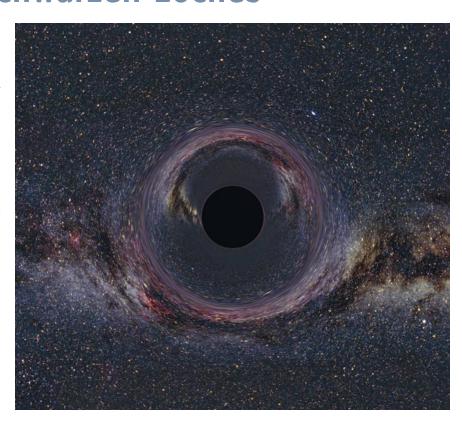
# Spaghettisierung in der Nähe eines Schwarzen Loches Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: (+49|0) 6221–528-246.

Der Begriff »Spaghettisierung« stammt von Stephen Hawking, der ihn in seinem Bestsellerbuch »A Brief History of Time«, welches im Jahr 1988 erschien [1], erfand. Gemeint ist damit die Wirkung der starken Gezeitenkraft in der Nähe eines großen Gravitationspotentials, wie es bei Schwarzen Löchern auftritt.

Ab Seite 46 in diesem Heft schildert Ute Kraus in ihrem Aufsatz »Reiseziel Schwarzes Loch« zur Visualisierung der Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie die Wirkung solch starker Gravitationskräfte auf Licht. Die dortige Abb. 1 zeigt die Verzerrungen, die ein Betrachter in verschiedenen Distanzen zu einem Schwarzen Loch vor dem Band der Milchstraße sieht.



Abb.: Ein Raumfahrer, der aus seinem Raumschiff schaut, welches im Abstand von 600 km stationär über einem Schwarzen Loch von zehn Sonnenmassen verharrt, sieht das Milchstraßenband um das Schwarze Loch herum stark verzerrt. (Bild: Ute Kraus)



# Lösung der Aufgabe aus dem September-Heft 2005

**Aufgabe 1:** Mit der Albedo  $A_{\rm G}=0.1$ , der Solarkonstanten  $S_{\rm Erde}=1370~{\rm W/m^2}$ , der Astronomischen Einheit  $a_{\rm Erde}=1$  AE, der großen Bahnhalbachse von Golevka  $a_{\rm G}=2.514$  AE, der Infrarotemissivität  $\varepsilon_{\rm G}=0.9$  und der (so richtigen) Stefan-Boltzmann-Konstante  $\sigma=5.67~10^{-8}~{\rm W}$  m $^{-2}$  K $^{-4}$  folgt die mittlere Temperatur  $T_{\rm G}$  von (6489) Golevka aus der Energiebilanz dann zu:

$$T_{\rm G} = \sqrt[4]{\frac{(1 - A_{\rm G}) S_{\rm Erde} (a_{\rm Erde} | a_{\rm G})^2}{4 \varepsilon_{\rm G} \sigma}}.$$
  
= 175.8 K = -97.3 °C.

**Aufgabe 2:** Mit der Oberflächenwärmeleitfähigkeit Golevkas  $K_{\rm G}=0.01~{\rm W~m^{-1}}$  K<sup>-1</sup>, ihrer¹) mittleren Dichte  $\varrho_{\rm G}=2.7~{\rm g/cm^3}$ , der Wärmekapazität  $C_{\rm G}=680~{\rm J~kg^{-1}~K^{-1}}$  des Galovka-Materials und ihrer Rotationsfrequenz  $\omega_{\rm G}=2\pi/6^{\rm h}.02~{\rm folgt}$  die Tiefe der von der Sonneneinstrahlung beeinflussten Schale zu :

$$l_{\rm S} = \sqrt{\frac{K_{\rm G}}{\rho_{\rm G} C_{\rm G} \omega_{\rm G}}} = 4.3$$
 Millimeter.

**Aufgabe 3:** Hier haben sich gleich drei Fehler in die Aufgabenstellung eingeschlichen. Die Bahnänderungsrate lautet richtig:  $\dot{a}=2\,f_{\rm Y}/\omega$ . Die Beschleunigung von Golevka ist korrekt:

$$f_{\rm Y} = \frac{2}{\varrho_{\rm G} R_{\rm G}} \frac{\varepsilon_{\rm G} \, \sigma \, {T_{\rm G}}^4}{c} \frac{\Delta T_{\omega}}{T_{\omega}} \, f(\zeta). \label{eq:f_Y}$$

Und der thermische Parameter ist richtig:

$$\Theta_{\omega} = \Gamma \, \omega_{\rm G}^{1/2} / (2 \, \pi \, \varepsilon_{\rm G} \, \sigma \, T_{\rm G}^{3}).$$

Mit diesen Korrekturen und den Werten für Golevkas Radius  $R_G = 265$  m und die Lichtgeschwindigkeit  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s folgt ihre Bahnänderungsrate zu:

$$a = 2.22 \, 10^{-6} \, \text{m/s}.$$

Dies entspricht 70 000 km bzw. 0.18 Mondbahnradien ( $r_{\rm C}=384\,400$  km) innerhalb einer Million Jahre.

**Aufgabe 4:** Das aus den Radarmessungen am Kleinplaneten (6489) Golevka abgeleitete Messergebnis für die durch den Yarkowsky-Effekt induzierte Änderung ihrer großen Bahnhalbachse beträgt  $\Delta a = 15$ 

Kilometer innerhalb der Zeitspanne  $\Delta t$  = Mai 2003 – April 1991 = 145 Monate. Die Rate der Bahnänderung  $\dot{a} = \Delta a/\Delta t$  ist dann **a**) 1.24 km/a, **b**) 0.0083 AE/10<sup>6</sup> a und **c**) 3.23 Mondbahnradien/10<sup>6</sup> a. Ein Vergleich mit dem Ergebnis aus Aufgabe 3 ergibt auch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass nur der diurnale, nicht jedoch der saisonale, also der mit der Umlaufsperiode verknüpfte Jahreszeiteneffekt berücksichtigt wurde, nur eine recht grobe Übereinstimmung.

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. November** an: Redaktion SuW –

#### Richtige Lösungen sandten ein:

Eva Ponick, D-38678 Clausthal-Zellerfeld; Ulrike Saher, D-40629 Düsseldorf; Katrin Stauch, D-01640 Coswig; Christine Zerbe, D-86179 Augsburg; M. Baldus, D-59519 Möhnesee; G. Beyvers, D-85058 Ergoldsbach; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, D-86356 Neusäß / OT Steppach; G. Breitkopf, D-13156 Berlin; H. Brockmann, D-78315 Radolfzell; U. Buchner-Eysell, D-86833 Ettringen; 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. Dufter, 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 Heidelberg; M. Geisel, D-79540 Lörrach; J. Glattkowski, D-76571 Gaggenau; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; A. Güth, D-73119 Zell u. A.; R. Guse, D-31228 Peine; A. Haag, D-63110 Rodgau; J. Haller, D-51379 Leverkusen; H. Hauser, D-89275 Elchingen; A. Huss, D-70599 Stuttgart; B. Hußl,

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>) Golevka, Kunstwort aus den Anfangsbuchstaben der drei an der Entdeckung beteiligten Observatorien Goldstone, Kalifornien, Evpatoria, Ukraine, und Kashima, Japan, endet auf dem eher femininen »a«.

Im folgenden soll abgeschätzt werden, welche Bedingungen das Gravitationsfeld in solch geringer Distanz vom Schwarzen Loch erzeugt.

**Aufgabe 1:** Man ermittle die aus der hier gültigen Näherung für die Gezeitenkraft

$$F_Z = 2 G M m \frac{1}{d^3} = m a$$

resultierende Beschleunigung a in Vielfachen der Erdbeschleunigung g=9.81 m/s², die ein l=2 m großer Astronaut erfährt, wenn er a) in  $d_a=600$  km und b) in  $d_b=150$  km Distanz zum Zentrum des Schwarzen Loches mit der Masse M=10 M $_{\odot}$  verharrt und seine Füße zum Zentrum der Gravitationsquelle hin zeigen. Die Gravitationskonstante ist G=6.672  $10^{-11}$  m³ kg $^{-1}$  s $^{-2}$ .

**Aufgabe 2:** Mit welchem Gewicht zerrt der Kopf des Astronauten am Scherpunkt des Körpers im Fall b) aus Aufgabe 1? Der Kopf habe die Masse  $m_{\rm K}=5$  kg, der Schwerpunkt liege in der Mitte des Körpers. AXEL M. QUETZ

#### Literatur

[1] **Stephen W. Hawking:** Eine kurze Geschichte der Zeit. rororo science sachbuch, 1998. ISBN: 3499605554.

[2] Axel M. Quetz: Zum Nachdenken: Stellardisruption. SuW 12/2002, S. 92.

A-4553 Schlierbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; G. Jürgens, D-29549 Bad Bevensen; 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. Köppl, 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 Burgthann; 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; S. Merten, D-27711 Osterholz-Scharmbeck; 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; M. Otte, D-34414 Warburg; 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; E. Rössler, D-13503 Berlin; 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; 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; H.-G. Wefels, D-47239 Duisburg; H. Wember, D-22525 Hamburg; A. Wendt, D-69488 Birkenau; S. F. Werhahn, D-31171 Rössing; B. Wichert, D-21629 Neu Wulmstorf; G. Woysch, D-70435 Stuttgart; A. Zeh-Marschke, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen; M. Ziegler, A-2460 Bruckneudorf; Chr. Zorn, D-70825 Korntal-Münchingen; W. Zumach, D-86163 Augs-

Insgesamt 94 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.

# Kreuzworträtsel

## VON FRED GOYKE

optisches Bauteil	•	Sternbild des Eski- monebels (int. Abk.)	•	•	Stern- gruppe im Orion- nebel	<b>V</b>	zweit- größter Saturn- mond	erster deutscher Raum- fahrer	•	<b>V</b>	145 Lj. entfernter ovaler Stern
deutscher Raum- fahrt- pionier	-						gleich- klingende Silben in Versen	2			Fernseh- sender der »Space Night«
Start- rampe in Kourou (Abk.)		chin. Tierkreis- zeichen	_					Sternbild Eidechse (int. Abk.)			
-	7		besonde- rer Mikro- wellen- verstärker	$\bigcirc^6$	Milch- straßen- region (1. Wort)						
						veraltet: Träger- medium des Lichts		Sternbild von Botein (lat. Bez.)	5		Stern- stadium (2. Wort)
entwarf d. Kuppel v. Observat. bei Nizza			R von ZHR	<b>•</b>					KfzKenn- zeichen f. Neuwied	9	
				Stern im Löwen		Sternbild, Nachbar von Cetus (int. Abk.)					
2 Stern- bilder (2. Wort)		ehem. Name d. Satelliten Chandra	8				Gamma Cephei	4	Spiral- galaxien- klasse		
Sternbild beim Him- melssüd- pol (Abk.)	-			Radio- blasen (engl.)	-					Symbol von Rhenium	
dänischer Astronom (Licht- geschw.)	-						russ amerik. Neutrino- detektor	-			10

 Cyanual des Kreutzwort Lösenta des Kreutzwort 

 Lätzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004
 A M A K R O T A U L F

 Latzels ans SuM 9/2004



Kreuzworträtsel. Die eingekreisten Buchstaben bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum 15. Oktober auf einer Postkarte an die Redaktion einsenden, verlosen wir Ahnerts Astronomisches Jahrbuch 2006. Im Ahnert findet man alle wichtigen astronomischen Ereignisse des kommenden Jahres.

Viel Spaß beim Knobeln!

Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 9/2005 lautet: **Formalhaut.** Der glückliche Gewinner des Porro-Fernglas Bresser Saturn 15×60 (bei

140 richtigen, 3 falschen und 2 zu spät eingetroffenen Einsendungen) ist: **Jürgen Groß**, Großbeerenstr. 44, D-10965 Berlin. *Herzlichen Glückwunsch! Red*.

### »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 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

#### Die 25. Runde

werden.

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.

Das 7×50-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.vixeneurope.com.