

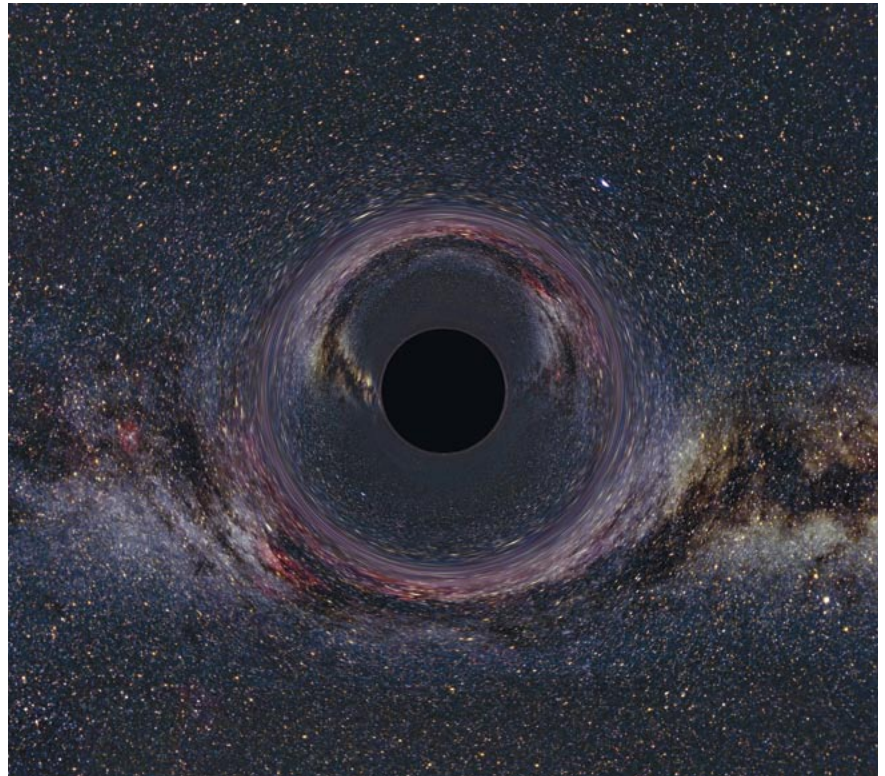
Spaghettisierung in der Nähe eines Schwarzen Loches

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. November** an: Redaktion SuW – 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 $A_G = 0.1$, der Solarkonstanten $S_{\text{Erde}} = 1370 \text{ W/m}^2$, der Astronomischen Einheit $a_{\text{Erde}} = 1 \text{ AE}$, der großen Bahnhalbachse von Golevka $a_G = 2.514 \text{ AE}$, der Infrarotemissivität $\varepsilon_G = 0.9$ und der (so richtigen) Stefan-Boltzmann-Konstante $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ folgt die mittlere Temperatur T_G von (6489) Golevka aus der Energiebilanz dann zu:

$$T_G = 4 \sqrt{\frac{(1 - A_G) S_{\text{Erde}} (a_{\text{Erde}}/a_G)^2}{4 \varepsilon_G \sigma}}$$

$$= 175.8 \text{ K} = -97.3 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Aufgabe 2: Mit der Oberflächenwärmefähigkeit Golevkas $K_G = 0.01 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, ihrer¹⁾ mittleren Dichte $\rho_G = 2.7 \text{ g/cm}^3$, der Wärmekapazität $C_G = 680 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ des Galovka-Materials und ihrer Rotationsfrequenz $\omega_G = 2\pi/6^{\text{h}}02$ folgt die Tiefe der von der Sonneneinstrahlung beeinflussten Schale zu:

¹⁾ Golevka, Kunstwort aus den Anfangsbuchstaben der drei an der Entdeckung beteiligten Observatorien Goldstone, Kalifornien, Eypatoria, Ukraine, und Kashima, Japan, endet auf dem eher femininen »a«.

$$l_S = \sqrt{\frac{K_G}{\rho_G C_G \omega_G}} = 4.3 \text{ Millimeter}.$$

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

$$f_Y = \frac{2}{\rho_G R_G} \frac{\varepsilon_G \sigma T_G^4}{c} \frac{\Delta T_\omega}{T_\omega} f(\zeta).$$

Und der thermische Parameter ist richtig:

$$\Theta_\omega = \Gamma \omega_G^{1/2} / (2 \pi \varepsilon_G \sigma T_G^3).$$

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

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

Dies entspricht 70 000 km bzw. 0.18 Mondbahnradien ($r_\zeta = 384 \cdot 400 \text{ km}$) 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 $\Delta t = \text{Mai } 2003 - \text{April } 1991 = 145 \text{ Monate}$. Die Rate der Bahnänderung $\dot{a} = \Delta a/\Delta t$ ist dann **a)** 1.24 km/a, **b)** 0.0083 AE/10⁶ a und **c)** 3.23 Mondbahnradien/10⁶ 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 Umlaufperiode verknüpfte Jahreszeiteffekt berücksichtigt wurde, nur eine recht grobe Übereinstimmung. AMQ

Richtige Lösungen sandten ein:

Eva Ponick, D-38678 Clausthal-Zellerfeld; Ulrike Sauer, 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,

