

# Stellardisruption

Kommt ein Astrophysiker einem Objekt mit steilem Gravitationsgradienten immer näher, so wird er wegen der starken Gezeitenkräfte mit unwiderstehlicher Gewalt in die Länge gezerrt und gleichzeitig die senkrecht dazu liegende Querschnittsfläche auf unzumutbare Werte reduziert, schreiben Misner, Thorne und Wheeler in ihrem monumentalen Wälzer »Gravitation« [1] (es wird dort nicht erwähnt, ob dieses Schicksal anderen Berufszweigen erspart bleibt). Jener Vorgang des In-die-Länge-ziehens unter simultaner Verdünnung beim Sturz in ein Schwarzes Loch wird gelegentlich auch Spaghettisierung genannt.

Stefanie Komossa berichtet in ihrem Aufsatz ab Seite 22 in diesem Heft vom Nachweis heftiger Strahlungsausbrüche im Röntgenbereich mit ROSAT, die als das Verschlucken eines Sterns durch ein Schwarzes Loch interpretiert werden. Der Formalismus im Kasten auf Seite 25 soll hier etwas näher beleuchtet werden.

**Aufgabe 1:** Zunächst soll die Gravitationskraft  $F_G$  an der Oberfläche eines Sterns der Masse  $M_*$  und des Radius  $R_*$  angegeben werden. Dazu betrachte man einen Probenkörper geringer Masse  $m$ , der an der Stern-

oberfläche von diesem angezogen wird. Die Gravitationskraft zwischen zwei Massen  $m_1$  und  $m_2$  ist:  $F_G = G m_1 m_2 / r^2$ .

**Aufgabe 2:** Abb. 1 zeigt einen Stern, der an einem Schwarzen Loch der Masse  $M_{SL}$  vorbeifliegt und wegen der dabei auftretenden Gezeitenkräfte in dessen Richtung Materie einbüßt. Befindet sich der oben eingeführten Probenkörper auf der Verbindungslinie zum Schwarzen Loch bei A, so erfährt er vom diesem die Gravitationskraft  $F(r-R_*)$ . Materie im Abstand  $r$  wird jedoch mit der Kraft  $F(r)$  angezogen. Die Differenz  $\Delta F = F(r-R_*) - F(r)$  ist die auf Materie am Rand des Stern bei A wirkende Gezeitenkraft. Wie groß ist sie?

**Aufgabe 3:** Der Stern kann seine Oberflächenmaterie nicht halten, wenn die durch das Schwarze Loch verursachte Gezeitenkraft die Anziehung durch den Stern überwiegt. Welche einfache Bedingung lässt sich dafür angeben? **Hinweis:** Man berücksichtige  $r - R_* \approx r \approx r + R_*$ .

**Aufgabe 4:** Derjenige Radius, innerhalb dessen der Stern zerrissen wird, heißt Gezeitenradius. Man forme die in Aufgabe 3

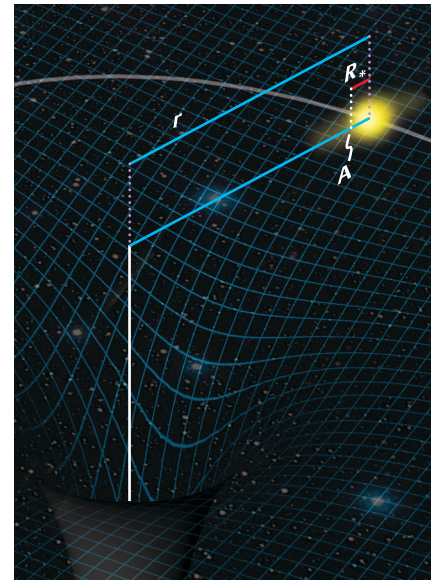


Abb. 1: Im Potentialfeld eines Schwarzen Lochs wird ein Stern zerlegt.

erhaltene Gleichung so um, dass sich der Gezeitenradius für  $M_{SL}' = M_{SL}/10^6 M_\odot$ ,  $M_*' = M_*/M_\odot$ , und  $R_*' = R_*/R_\odot$  in Einheiten von AE ergibt. Axel M. Quetz

### Literatur

[1] Charles W. Misner, Kip S. Thorne, John Archibald Wheeler: Gravitation. W. H. Freeman and Co. Gravitation, 1973. ISBN: 0-7167-0344-0 (immer noch lieferbar).

## Lösung der Aufgabe aus dem Februar-Heft

**Aufgabe 1:** Die in der Aufgabenstellung in Heft 2/2002 abgedruckte Abbildung gestattet die Bestimmung aller zur Lösung notwendigen Größen. Bezeichnet man die zu  $r$  und  $R$  gehörenden, auf der Bahn des Planeten liegenden Katheten mit  $x_r$  und  $x_R$  und die andere Kathete mit  $h$ , so lässt sich leicht ablesen:

$$r^2 - x_r^2 = h^2 = R^2 - x_R^2. \quad (1)$$

Bezeichnet man weiter die auf die Himmelsebene projizierte Distanz der Mittelpunkte vom Planeten und seiner Sonne mit  $s$ , wobei  $s = x_r + x_R$ , dann ergibt sich mit der Umlaufperiode  $P$  für die Zeit  $\tau$  in Bezug auf den Bedeckungsmittelpunkt:

$$\tau = \frac{P}{360^\circ} \arcsin \frac{s}{a}$$

Mit den Abkürzungen  $\varrho = r/R$  und  $\sigma = s/R$  ergeben sich die beiden Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  zu:

$$\alpha = \arccos \left[ \frac{1 - \varrho^2 - \sigma^2}{2 \varrho \sigma} \right]$$

und

$$\beta = \arcsin [\varrho \sin \alpha].$$

Dann sind die durch die Kreise aus den bei Gleichung (1) betrachteten Dreiecken ausgeschnittenen Teilflächen (ausführlich):

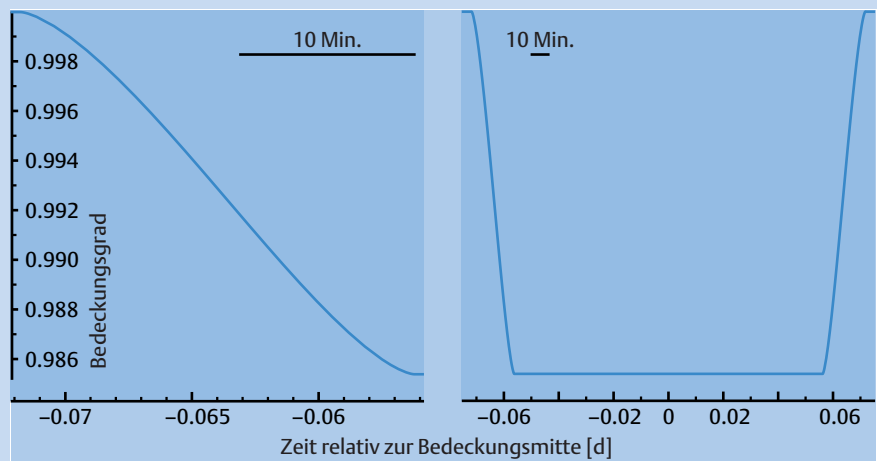


Abb. 1: Die rein geometrische Lichtkurve von HD 209458 beim Vorübergang seines Planeten. Links: Der Eintritt des Planeten vor die Sternscheibe. Rechts: Die gesamte Bedeckungsphase.

$$F_r = \pi r^2 \frac{\alpha}{2\pi} - \frac{1}{2} r \sin \alpha r \cos \alpha$$

und

$$F_R = \pi R^2 \frac{\beta}{2\pi} - \frac{1}{2} R \sin \beta R \cos \beta.$$

Beim Eintritt und beim Austritt des Planeten vor der Sternscheibe sind diese beiden Teilflächen  $F_r$  und  $F_R$  nur noch in geeigneter Weise

zu kombinieren, dann zu verdoppeln und das Resultat schließlich auf die Sternfläche zu normieren und man erhält die in Abb. 1 abgebildete Lichtkurve. Der maximale Bedeckungsgrad  $b_{\max}$  ist dabei:

$$b_{\max} = \frac{r^2}{R^2} = 0.0146.$$

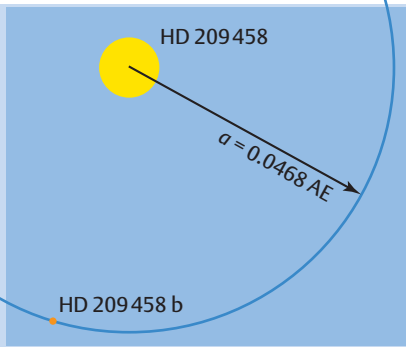


Abb. 2: HD 209458, sein planetarischer Begleiter und dessen Bahn im selben Maßstab.

Die beobachtete Intensität sinkt zwischen dem zweiten und dritten Kontakt rein aufgrund der geometrischen Gegebenheiten demnach auf:

$$I_{\min}/I_0 = 1 - b_{\max} = 0.9854$$

ab. AMQ

### Richtige Lösungen sandten ein:

Irmi Beran, D-69121 Heidelberg; Barbara Schmidt, D-19057 Schwerin; Chr. Beran, D-69121 Heidelberg; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; U. Buchner-Eysell, D-86833 Ettringen; W. Christ, D-65824 Schwalbach; K. Clausecker, D-74219 Möckmühl; A. Dannhauer, D-38871 Ilsenburg; M. Derks, D-47929 Grofrath; J. Döblitz, D-70619 Stuttgart; A. Dufter, D-83334 Inzell; H. Duran, CH-5300 Turgi; E. Edler v. Malyevacz, D-70825 Korntal-Münchingen; H. Eggers, D-31311 Uetze; H. Fischer, A-7132 Frauenkirchen; R. Fischer, D-50858 Köln; G. Forster, D-69120 Heidelberg; P. Friesecke, D-39307 Zabakuck; M. Geisel, D-79540 Lörrach; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; H. Gutsche, D-01478 Weixdorf; A. Haag, D-63110 Rodgau; J. Haller, D-51379 Leverkusen; J. Hanisch, -48712 Gescher; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; V. Heesen, D-82166 Gräfelfing; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; E. Hoffmeister, D-53604 Bad Honnef; A. Huss, D-70599 Stuttgart; B. Hußl, A-4553 Schlierbach; H. Kamper, D-89520 Heidenheim; Th. Kowall, CH-1006 Lausanne; H.-P. Lange, D-85376 Massenhausen; M. Leinweber, D-35435 Wettenberg; B. Leps, D-13507 Berlin; D. Lindner, D-18059 Rostock; G. Lühr, D-82131 Gauting; R. Lösel, D-99096 Erfurt; P. Matzik, D-51399 Burscheid; N. Mayer, D-12205 Berlin; M. Mendl, D-85567 Grafing b. München; J. Michelberger, D-74348 Lauffen; K. Mischke, D-71116 Gärtringen; F. Moser, D-47167 Duisburg; K. Motl, D-82538 Geretsried; K. Th. Oberem, D-24250 Warnau bei Nettelsee/Kreis Plön; K. Oelker, D-37619 Bodenwerder; M. Otte, D-34414 Warburg; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; S. Petrick, D-98553 Hirschbach; U. Poschmann, D-52351 Düren; Th. Reitemann, D-86169 Augsburg; E. Rössler, D-13503 Berlin; M. Rogozia, D-16321 Ladeburg; A. Schäfer, D-71711 Steinheim/Murr; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; N. Scherer, D-76137 Karlsruhe; J. Schermer, D-12687 Berlin; M. Schiffer, D-88662 Überlingen; B. Schmalefeldt, D-21521 Aumühle; G. Scholz, D-73457 Essingen; P. J. Schüngel, CH-8105 Regensdorf ZH; M. Senkel, D-85614 Kirchseeon; J. Slotta, D-63571 Gelnhausen/Roth; Chr. Stamm, D-52072 Aachen; H. Stöckhert, D-82284 Grafrath; P. Stoffer, CH-3507 Biglen; H.-G. Wefels, D-47239 Duisburg; P. Wein, D-80333 München; K. Wiedemer, D-57072 Siegen; G. Woysch, D-70435 Stuttgart; C. Zille, D-92697 Georgenberg; Chr. Zorn, D-70825 Korntal-Münchingen.

Insgesamt 73 Einsendungen, Fehlerquote: 0%.

## Kreuzworträtsel

Von Fred Goyke

Mz 3 (...nebel)	2	erster japan. Satellit		Raumstation (Abk.)	griech. Buchstabe von Mizar	Betreiber des VLTs		Meteorfallrate (Abk.)	russ. Bez. für einen Weltraumbahnhof
Nebelkatalog			6	bis 1861 Direktor d. Leipziger Sternwarte	Sonnenforschungssatellit		Finsterisphänomen (engl. Bez., 1. Wort)		
Hesperos und Phosphorus		meteorol. Zustand der Erdoberfläche	Mondkrater nahe Joule		1		Kfz.-Kennzeichen f. Remscheid		
				Bestandteil eines Kometenschweifs			Gamma Cephei		
NGC 2392 (...nebel)	4	Sternbild von Pollux (int. Abk.)			autom. Funktion einer Montierung		Doppelstern (beide O9, ... Cas)		
			Nachfolgerin der Ephemeridenzeit	Gründer des »Astronomical Journal«				3	
Epsilon Pegasi	Filmtyp (... 2415)	russischer Kosmonaut (German ...)		5			eins der 1. Elemente nach dem Urknall		
					7	Observatorium in Colorado			
Sonde, soll Kometenstaub z. Erde bringen		Kennung der Space Shuttle Missionen			Onkel (veraltet)				

### Lösung des Kreuzworträtsels aus SuW 2/2002

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



Die eingekreisten Buchstaben in unserem monatlichen **Kreuzworträtsel** bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum **15. April** auf einer **Postkarte** an die **Redaktion** einsenden, verlosen wir einen Spiegel-Sextanten zum Zusammenbauen im Wert von 35 DM, gestiftet und zu beziehen von **Sunwatch**, Haedenkampstr. 5, D-45143 Essen, zu beziehen auch durch den Buchhandel. Viel Spaß beim Knobeln!

Das Lösungswort des Kreuzworträtsels in Heft 2/2002 lautet: **Oppenheimer**. Der glückliche Gewinner ist: **Jan Haller**, Obere Str. 6, D-51379 Leverkusen. Der in dort als Preis ausgelobte Spiegel-Sextant wird von der Redaktion versendet. *Herzlichen Glückwunsch! Red.*

### »Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich die aktuelle Aufgabe »Zum Nachdenken« auf der Homepage von SuW finden: [www.mpia.de/suw](http://www.mpia.de/suw). »Zum Nachdenken« ab Heft 6/1996 liegt dort (→ SuW-Archiv → Zurückliegende Ausgaben) im Portable Document Format (pdf) bereit. Den zugehörigen Acrobat Reader, mit dem sich die Dokumente lesen und drucken lassen, stellt Adobe für alle Rechnerplattformen kostenlos zur Verfügung.

### Die 21. Runde

Mit der Aufgabe im Juli-Heft 2001 begann die 21. Runde »Zum Nachdenken«. Mit der elften Aufgabe in Heft 6/2002 wird sie enden. Löser, die in dieser Runde mindestens neun richtige Einsendungen an die Redaktion gesandt haben, nehmen an der Verlosung der Preise teil. Zu gewinnen gibt es wieder Bücher, Freiabos und als attraktiven Hauptpreis ein Vixen GP E R114M im Wert von 1398 DM, gestiftet von Fa. Veh-

renberg, Düsseldorf. Das Gerät hat eine Öffnung von 114 mm und eine Brennweite von 900 mm. Das Holzstativ ist höhenverstellbar. Sucherfernrohr 6330 und Okulare 9 mm und 18 mm orthoskopisch.

Viel Spaß beim Nachdenken und viel Erfolg beim Lösen!  
AMQ und die Redaktion

### Einsendungen

- Lösungen werden nur auf Papier – per Brief an: **Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg** oder per Fax an: (+49)0-6221-528-246 – akzeptiert, auf keinen Fall jedoch per E-mail.
- Leider kann nicht garantiert werden, dass ausschließlich auf dem Briefumschlag notierte Absenderangaben in jedem Fall ihren Weg zum Lösungsblatt finden. Die Redaktion empfiehlt deshalb, Namen und Anschrift immer auch auf dem Lösungsblatt zu notieren.
- Lösungen, die nach dem angegebenen Stichtag eintreffen, können leider nicht berücksichtigt werden. ◀



Der Hauptpreis der 21. Runde »Zum Nachdenken«: Ein **Newton-Teleskop Vixen-GP E R114M**.