Millisekundenpulsare

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

Ein Pulsar ist ein rotierender Neutronenstern, in dessen starken Magnetfeld Radiostrahlung entsteht, die im Zuge der Rotation regelmäßig die Erde überstreicht. Kürzlich wurde der neuerliche Rekordhalter unter den Millisekundenpulsaren entdeckt: PSR J1748–2446ad [1] – siehe dazu auch den Bericht aus der Forschung »Drall-Rekord im All« von Andreas Bauswein ab S. 14. Die Rotationsperiode dieses schnell rotierenden Neutronensterns liegt bei $P_{msP} = 1.396$ Millisekunden.

Aufgabe 1: Neutronensterne entstehen bei einem Kollaps. Dabei bleibt der magnetische Fluss erhalten. Die magnetische Flussdichte B_S der kollabierenden Kernregion vor dem Kollaps beträgt etwa $B_S \approx 0.01$ Tesla. Während der Kontraktion erhöht sich die Dichte der Magnetfeldlinien gemäß $B \propto R^{-2}$ ($\propto$ steht für »proportional zu«). Wie groß ist die magnetische Flussdichte B_N des Neutronensterns, wenn der Radius von zunächst $R_S = 10^6$ km auf $R_{msP} = 10$ km schrumpft?

Aufgabe 2: a) Der Radius des neu entdeckten Pulsars liegt bei $R_{msP} = 15$ km. Man berechne die Geschwindigkeit eines Punktes auf seinem Äquator in Bruchteilen der Lichtgeschwindigkeit ($c = 3\ 10^5$ km/s). **b)** Welche Rotationsdauer P_{min} kann ein Neutronenstern mit diesem Radius minimal besitzen?

Aufgabe 3: Die Magnetfeldlinien sind im Neutronenstern verankert und rotieren mit diesem um dessen Rotationsachse. Elektrisch geladene, vom Magnetfeld mitgeführte Teilchen, umkreisen den entarteten Stern mit einer Geschwindigkeit, die einerseits vom Abstand zur Rotationsachse abhängt, aber andererseits nicht größer werden kann als die Lichtgeschwindigkeit. Der sich daraus ergebende Grenzradius r_c definiert einen Bereich, der »Lichtzylinder« genannt wird [2]. Man berechne r_c für PSR J1748–2446ad.

Im Jahre 1742 überlegte sich der schottische Wissenschaftler Colin Maclaurin (1698–1746) einige Eigenschaften rotierender fluider Körper. Rotierende axialsymmetrische Körper werden deshalb auch Maclaurin-Sphären genannt. Unsere Sonne ist ein Beispiel für diese Art Sphären.

Sehr schnell rotierende Maclaurin-Sphären sind langfristig nicht stabil, sondern bilden ein triaxiales Jacobi-Ellipsoid aus (benannt nach dem Mathematiker Carl G. J. Jacobi, 1804–1851), das im Gegensatz zu Maclaurin-Sphären ein Quadrupolmoment besitzt und deswegen Gravitationswellen abstrahlt.

Aufgabe 4: Der Übergang zur unsymmetrischen, triaxialen Form geschieht spätestens, wenn für das Verhältnis aus Rotationsenergie T und dem Betrag des Gravitationspotentials $|W|$ gilt:

$$\frac{T}{|W|} > 0.1375.$$

Die Rotationsenergie des Pulsars ist:

$$T_{msP} = I_{msP}\, \Omega_{msP}^2,$$

mit dem Massenträgheitsmoment $I_{msP} = 2/5\, M_{msP} R_{msP}^2$, die Rotatonsfrequenz ergibt sich aus $\Omega_{msP} = 2\pi/P_{msP}$ und die Masse sei $M_{msP} = 1\, M_\odot = 2\, 10^{30}$ kg. Das Gravitationspotential des Pulsars ist gegeben durch:

$$W_{msP} = -\frac{3}{5}\frac{G\, M_{msP}^2}{R_{msP}}$$

Lösung der Aufgabe aus dem Mai-Heft 2006

Aufgabe: Zu ermitteln war der Radius des im Aerogel eingefangenen Partikels, dessen Bremspfad in der abgedruckten Abbildung der Aufgabenstellung zu sehen ist. Angegeben war die Länge $L_T = 1.26$ mm der Spur.

Der kritische Druck, oberhalb dessen die Aerogelstruktur zerbricht, ist für die beiden Grenzwerte der Aerogeldichten $\varrho_0 = 10$ mg/cm³ und $\varrho_1 = 50$ mg/cm³:

$$P_c(\varrho_0) = 3.02 \text{ kPa}$$

bzw.

$$P_c(\varrho_1) = 80.5 \text{ kPa}.$$

Die zugehörige kritische Geschwindigkeit v_c folgt aus der angegebenen Gleichung

$$v_c = \sqrt{\frac{2\, P_c}{\varrho_{Gel}}}$$

dann zu:

$$v_c(\varrho_0) = 24.6 \text{ m/s}$$

bzw.

$$v_c(\varrho_1) = 56.8 \text{ m/s}.$$

Erst wenn die Geschwindigkeit des Staubpartikels von 6.1 km/s auf 24.6 m/s (etwa 88 km/h) bzw. 56.8 m/s (etwa 204 km/h) gesunken ist, reicht der Druck auf das Gelsubstrat nicht mehr aus, dieses zu zerbrechen, und das Partikel kommt zum Stillstand. Dies geschieht innerhalb der sehr kurzen Zeitspanne $\Delta t_T = 2\, L_T/\Delta v = 0.4$ µs. Die mittlere Bremsverzögerung ist dabei $a_T = \Delta v/\Delta t_T = 1.5$ Gg (G = 10^9, g ist die Erdbeschleunigung) – also nicht ganz unerheblich!

Ein Backstein von 2500 Gramm steht auf einem Stück Aerogel mit lediglich 2 Gramm Masse.

Mit dem Wegparameter

$$\lambda = \sqrt{\frac{L_T}{\ln(v_0/v_c)}}$$

ergibt sich der gesuchte Teilchenradius aus der Gleichung

$$r_g = \frac{3}{4}\lambda\, C_d\, \frac{\varrho_{Gel}}{\varrho_g}$$

zu:

$$r_g(\varrho_0) = 0.52\ \mu\text{m}$$

bzw.

$$r_g(\varrho_1) = 3.04\ \mu\text{m}.$$

Zwischen diesen beiden Werten liegt der Radius des Teilchens, sofern es tatsächlich aus Olivin besteht.

AMQ

Richtige Lösungen sandten ein:

Eva Ponick, D-38678 Clausthal-Zellerfeld; Ulrike Saher, D-40629 Düsseldorf; Katrin Stauch, D-01640 Coswig; Sieglinde Übermasser, A-2253 Weikendorf; Christine Zerbe, D-86179 Augsburg; M. Baur, D-87463 Dietmannsried; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, D-86356 Neusäß / OT Steppach; 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. Dufter, D-83334 Inzell; H. Duran, CH-5300 Turgi; E. Edler v. Malyevacz, D-70825 Korntal-Münchingen; H. Eggers, D-31311 Uetze; P. Fischer, D-08223 Falkenstein; R. Fischer, D-50858 Köln; G. Forster, D-69120 Heidelberg; M. Geisel, D-79540 Lörrach; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann,

Strahlt PSR J1748–2446ad demnach Gravitationswellen ab?

Aufgabe 5: Triaxiale Neutronensterne emittieren Gravitationswellen. Die relative Längenänderung h, die von einer durchlaufenden Gravitationswelle am Ort der Erde erzeugt wird [3], ergibt sich zu:

$$h_{\mathrm{msP}} \simeq 2.8\,10^{-20}\,\varepsilon\,R_6^{\,5}\,d_1^{\,-1}\,P_{10}^{\,-2}\;\theta$$

mit $R_6 = R/6$ km, $d_1 = d/1$ kpc und $P_{10} = P/10$ ms. PSR J1748–2446ad befindet sich im $d = 8.7$ kpc entfernten Kugelsternhaufen Terzan 5. Man erwartet, dass Längenänderungen größer als etwa 10^{-24} nachweisbar sind: Welche Bedingung ergibt sich daraus für $\varepsilon\,R_6^{\,5}$, (ε ist ein Maß für die Elliptizität des Neutronensterns), wenn der Wobblewinkel $\theta = 0.1$ (Bogenmaß) ist? Letzterer rührt her aus der Gyration des nicht axialsymmetrischen Körpers um seine Rotationsachse im Zweikörpersystem Pulsar–Stern.

AXEL M. QUETZ

Literatur

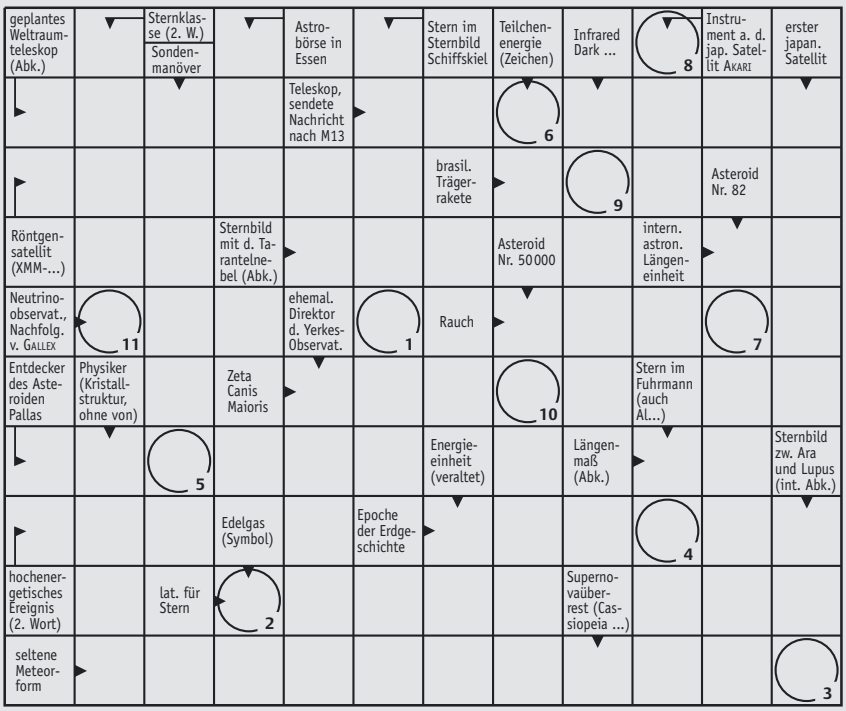
[1] **Jason W. T. Hessels et al.:** A Radio Pulsar Spinning at 716 Hz. Science 311, S. 1901–1904 (2006).

[2] **Axel M. Quetz:** Zum Nachdenken: Lichtzylinder und Dispersionsmaß. SuW 11/2000, S. 1012.

[3] **Axel M. Quetz:** Zum Nachdenken: Gravitationswellen, Teil 1 und 2. SuW 2 und 4/1997, S. 178 und 410.

Kreuzworträtsel

VON FRED GOYKE



Lösung des Kreuzworträtsels aus SuW 5/2006

B S S Z M
JEWITT PEROT
VENUS N NA
Q B REGIM S
AUGER G TILT
A NEBEL Z E
ASI G LYMAN
TARVOS R ROT
RI RUTAN VO
ESO DREI AR

Kreuzworträtsel. Die eingekreisten Buchstaben bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum **15. Juli** auf einer Postkarte an die *Redaktion* einsenden, verlosen wir einen Feldstecher Bresser Cobra 7×50, gestiftet von Fa. Meade. Die Mehrschichtvergütung aller optischen Glasoberflächen garantiert brillantes und kontrastreiches Beobachten. *Viel Spaß beim Knobeln!*

Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 5/2006 lautet: **Starburst.** Der glückliche Gewinner des Refraktors Bresser Sirius 70/900 (bei 112 richtigen und 5 zu spät eingesandten Einsendungen) ist: **Torsten Glocke,** Birkholzweg 40, D-60433 Frankfurt. *Herzlichen Glückwunsch! Red.*

Die Gewinner der 25. Runde

Mit der Aufgabe im letzten Mai-Heft endete die 25. Runde »Zum Nachdenken«. Alle Löser, die wenigstens neun richtige Lösungen einsendeten, wurden bei der Verlosung berücksichtigt.

Den diesjährigen **Hauptpreis**, das **Coronado PST**, ein 40-mm-Refraktor zur Sonnenbeobachtung mit gekapseltem Hα-Filter einer Halbwertsbreite von besser als einem Ångström, gestiftet von Fa. Meade Instruments Europe, gewinnt *Christine Zerbe*. Herzlichen Glückwunsch!

Die weiteren Gewinner folgen nun der Tradition gemäß in der Reihenfolge ihrer Ziehung, diesmal durch Glücksfee Luisa Melanie:

2. Preis: Das **7×50-Fernglas New Ascot** von Vixen im Wert von 169 €, gestiftet von Fa. Vixen Europe, gewinnt *Andreas Dannhauer*.

5 Briefbeschwerer »Cassini«: *Reinhold Lühmann, Wolfram Blendin, Ralf-Reiner Conrad, Bernd Leps und Alexander Schäfer.* **7 SuW-Kalender »Himmel und Erde« 2007:** *Andreas Zeh-Marschke, Heinz Göbel, Sebastian Mrozek, Peter Matzik, Halit Duran, Bodo Wichert und Kurt Motl.* **7 SuW CD-Roms 2005:** *Georg Junge, Dieter Hauffe, Walter Christ, Franz-Georg Knell, Christian Overhaus, Ulrike Saher und Willy Mahl.* **5 Leuchtgloben »Sterne«:** *Matthias Leinweber, Thorsten Inghoff, Gunter Woysch, Fritz Schauer und Bernhard Hußl.* **7 Ahnert 2006 (ab August):** *Friedrich Moser, Jürgen Schermer, Rolf Fischer, Hanno Wember, Klaus Rohe, Günter Wahl und Jürgen Hampp.* Als Trostpflaster versenden wir den **Zum-Nachdenken-Kugelschreiber** an: *Günter Breitkopf, Günter Scholz, Hans-Gerd Wefels, Stefan Laudwein, Samer Kassam, Ruben Stahlbaum, Ansgar Heuser, Ludwig Kirschhock, Klaus Stampfer, Josef Nußbaum, Michael Senkel, Hugo Eggers, Michael Baldus, Horst Brockmann, Bernd Schmalfeldt, Jens Döblitz, Joachim E Keller, Hartmut Prange, Ernst Edler v. Malyevacz, Norbert Mayer, Katrin Stauch, Roman Prager, Jan Haller, Albrecht Thiele, Martin Otte, Gerhard Forster, Andre Borchardt, Christof Zorn, Hans-Peter Lange, Manfred Mendl, Harald Kamper, Robert H. Schertler, Klaus-Michael Köppl, Karl Clausecker, Christoph Kleinschmidt, Alfred Michael Dufter, Anton Lichtfuß, Achim Trutschel-Stefan, Reiner Guse, Hannes Kuchler, Günter Portisch, Gregor Tyczkowski, Jan Thimo Grundmann, Alexander Stefanescu, Achim Güth, Sieglinde Übermasser, Jürgen Glattkowski, Manuel Schiffer, Andreas Wendt, Walter Zumach, Jean-Francois Pittet, Paul Joachim Schüngel, Peter Stoffer, Manfred Ziegler, Christian Netzel, Norbert Scherer, Manfred Geisel, Arnold Haag, Eva Ponick und Andreas Leonhardt.*

Allen Einsendern sei hiermit Dank gesagt für Ihr permanentes Interesse und für viele bemerkenswerte Einsendungen. Wir gratulieren allen Gewinnern ganz herzlich und wünschen für die bereits seit dem Juni-Heft laufende 26. Runde viel Spaß beim Nachdenken und viel Erfolg beim Lösen! *AMQ*

D-52068 Aachen; A. Güth, D-73078 Boll; R. Guse, D-31228 Peine; A. Haag, D-63110 Rodgau; J. Haller, D-51379 Leverkusen; J. Hampp, D-91056 Erlangen; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; F. Hofmann, D-01069 Dresden; B. Hußl, A-4542 Nußbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; 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-53173 Bonn; F.-G. Knell, D-63457 Hanau; K.-M. Köppl, D-47805 Krefeld; 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-78224 Singen; A. Maier, D-93138 Lappersdorf; 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; M. Otte, D-59558 Lippstadt; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; J.-F. Pittet, D-88677 Markdorf; M. Plambeck, D-21031 Hamburg; G. Portisch, D-75015 Bretten; H. Prange, D-57250 Netphen; E. Rössler, D-13503 Berlin; K. Rohe, D-85625 Glonn; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; 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. 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; B. Wichert, D-21629 Neu Wulmstorf; K. Wiedemer, D-57072 Siegen; 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 Augsburg.

Insgesamt 90 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.