



Zum Nachdenken

Lösung zu »Gravitationswellen von GW150914, einem Doppelsystem aus zwei Schwarzen Löchern«, Teil 2 aus SuW 5/2016

ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Hefts finden Sie auf Seite 19.



Aufgabe 3: Mit Hilfe der im Mai-Heft, S. 20, angegebenen Gleichung lässt sich die Leuchtkraft-Distanz der Quelle des Gravitationswellensignals berechnen. Dabei ist die Lichtgeschwindigkeit $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s, die dimensionslose Signalamplitude der betrachteten Schwingung ist $h_0 = 0,5 \cdot 10^{-21}$, die Frequenz der ersten vollständigen Schwingung ist $f_1 = 33,3$ Hz und die zeitliche Änderung der Frequenz ist $\dot{f}_1 = 100,4$ Hz/s. Es ergibt sich:

$$D = \frac{5}{96} \frac{c}{\pi^2 h_0} \frac{\dot{f}_1}{f_1^3} \\ = 8,6 \cdot 10^{21} \text{ km} = 9,1 \cdot 10^8 \text{ Lj.}$$

Dieses Ergebnis liegt angesichts der einfachen Ermittlung von Frequenz und Frequenzänderung erfreulich dicht bei dem veröffentlichten Wert von 410 Mpc = 1,3 Milliarden Lichtjahre.

Aufgabe 4: Die betrachtete Umlaufzeit mit der Frequenz f_1 liefert die gesuchte Umlaufperiode. Weil pro Umlauf der Schwarzen Löcher umeinander zwei vollständige Gravitationswellen-Schwingungen abgestrahlt werden, $f_{\text{GW}} = f_1 = 2f_{\text{Orbit}}$ gilt:

$$P_{\text{Orbit}} = \frac{1}{f_{\text{Orbit}}} = \frac{2}{f_1} = 0,6 \text{ s.}$$

Aufgabe 5: a) Mit der Gesamtmasse $M = m_1 + m_2$ und $P^2 = 4 \pi^2 (GM)^{-1} a^3$ folgt der gesuchte Abstand zu:

$$a = [(P/2 \pi)^2 GM]^{1/3} \\ = 924 \text{ km.}$$

b) Aus der Umlaufperiode und dem Abstand lässt sich für die betrachtete Umdrehung die Bahngeschwindigkeit ermitteln:

$$v = 2 \pi a / P \\ = 96600 \text{ km/s} = 0,32 c.$$

Aufgabe 6: Nach dem in der Aufgabe in SuW 5/2016, S. 20, angegebenen Zusammenhang zwischen Gravitationswellenlänge und Schwingungsfrequenz folgt:

$$\lambda_1 = c/f_1 \\ \approx 9000 \text{ km,} \\ \lambda_{\text{final}} = c/f_{\text{final}} \\ \approx 2000 \text{ km.}$$

Zusatzaufgabe: Die Gleichung $E = (1/2)(GM/a^3)(m_1 a_1^2 + m_2 a_2^2) - G m_1 m_2 / a$ lässt sich umformen zu $E = (1/2)(G/a^3)(m_1 m_2)[a_1^2((m_1/m_2) - 1) + a_2^2((m_2/m_1) - 1) - 4 a_1 a_2]$. Mit $m_1/m_2 = a_2/a_1$ ergibt sich für die Terme in der eckigen Klammer $-(a_1 a_2)^2$, was sich gegen a^2 kürzen lässt.

Die gesuchte zeitliche Änderung des Abstands ist:

$$\dot{a} = (64/5)(G^3/c^5)(M^2 \mu/a^5).$$

AXEL M. QUETZ

Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Anete Anastasakis, Sandhausen; Andrea Bloomenhofer, Küps-Johannisthal; Brigitte Lindner, A-Wien; Selina Schube, Bad Dürkheim; Eva Spomer, Wetzlar; Margit Zink, Wendlingen; Astronomie-AG der HEBO-Privatschule Bonn; W. Balzer, Hattingen; H. Baudisch, A-Wien; G. Bauer, Farchant; M. Bauer, Wuppertal; O. Bechmann, Weyhausen; C. Behl, Bad Kissingen; K. Beier, Reichling; J. Birke, Handelloh; A. Brandenberger, CH-Rorschacherberg; G. Breitkopf, Berlin; R. Burgmeier, Regensburg; K. Clausecker, Künzelsau; E. Compans, Langenau; J. Dewitz, Epenwörden; H.-P. Distler, Henstedt-Ulzburg; J. Döblitz, Stuttgart; M. Fischer, Emskirchen; H. Fischer, A-Fraunkirchen; N. Forbrig, Lichtenstein; G. Forster, Heidelberg; M. Geisel, Lörrach; H. Gers, Meschede; H. Göbel, Lörrach; F. Götze, Gummersbach; M. Gottschalk, Konstanz; R. Gottsheim, Dortmund; M. Grasshoff, Schongau; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; R. Hagelweide, Woppsweide; J. Haller, Leverkusen; F. Hardt, Ehningen; W. Hauck, Hagen; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; H. Hauser, Ulm; M. Hentschel, Rhede; H.-D. Hettstedt, Isernhagen; J. Hingsammer, Altdorf; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; D. Höhne-Mönch, Dittelbrunn; Chr. Hollenbeck, Mönchengladbach; A. Huss, Stuttgart; T. M. Jung, Eurasburg; F. Kaul, Dittelbrunn; J. E. Keller, Ketsch; P. Kirsch, A-Linz; L. Kirschhock, Pommelsbrunn; M. Klein, Altdorf; F.-G. Knell, Hanau; H. Knopf, Baden-Baden; K.-M. Köppl, Krefeld; H. Krambeer, Wismar; M. Kretzler, Wilhelmshof; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz; O. G. Kunze, Marburg; S. Kurz, Altbach; H.-P. Lange, Massenhausen; T. Lehmann, Troisdorf;

R. Lühmann, Allensbach; W. Mahl, Ditzingen; G. Marmitt, Bensheim; B. Matzas, Eching-Diettersheim; P. Matzik, Burscheid; Th. Meisner, Düsseldorf; S. Meißner, Duisburg; K. Mischke, Gärtringen; A. Moritz, Ehringshausen; F. Moser, Duisburg; A. Münch, Alteglofsheim; H. Münz, Aalen; M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; Chr. Netzel, Aachen; Chr. Overhaus, Borken; G. Pannach, Braunschweig; F. Pietsch, Schwülper; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänserndorf; H. Prange, Netphen; B. Quednau, Langenberg; I. Raap, Königshorn; A. Reinders, Ravensburg; H.-W. Richter, Dortmund; W. Rockenbach, Biebrich; E. Rössler, Berlin; K. Rohe, Glonn; A. Sauerwald, Bottrop; U. Schaefer-Roloffs, Rostock; F. Schauer, Kirchzarten; F. Schechter, Berlin; F. Scherie, Ennepetal; R. H. Schertler, A-Braunau am Inn; M. Schiffer, Überlingen; A. Schirmer, Munster; B. Schmalfeldt, Aumühle; R.-G. Schmidt, Recklinghausen; G. Scholz, Essingen; E. Schroeder, Norderstedt; P. J. Schüngel, CH-Regensdorf ZH; S. Schuler, Püttlingen; R. Schuster, Altkunstadt; W. Schwab, Heidelberg; M. Senkel, Kirchseeon; G. Spindler, Waldshut-Tiengen; R. Spurny, A-Wien; J. Squar, Uetersen; W. Stammerger, A-Ostermiething; T. Steinpilz, Viersen; E. Streeruwitz, A-Wien; A. Thiele, Aachen; G. Traupe, Lilienthal; F. Treisch, Würzburg; G. Wahl, Erolzheim; A. Wankel, Maisach; H.-G. Wefels, Duisburg; S. Weidner, Fellbach; K. Weisensee, Glauburg; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; J. Wünsche, Löbau; N. Würfl, Sulzbach; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg; Chr. Zorn, Korntal-Münchingen.

Insgesamt 132 Einsendungen, Fehlerquote: 0

Er war's im Juni:

Es war Seth Carlo Chandler Jr. (geboren am 17. September 1846 in Boston, Massachusetts, gestorben am 31. Dezember 1913 in Wellesley Hills, Massachusetts). Chandlers Vater war einer der Inhaber einer Firma, die mit Heu, Kohle und anderen Produkten handelte. Schon im letzten Jahr seiner Schulausbildung – die High School in Boston schloss er 1861 ab – hatte er dem Mathematiker Benjamin Pierce als »Computer« (Rechengehilfe) zugearbeitet. Pierce lehrte in Harvard als Professor und beschäftigte sich nebenbei auch mit Astronomie. Chandler assistierte anschließend während seines Studiums dem Astronomen Benjamin Apthorp Gould. Dessen Einladung, zusammen mit ihm das National Observatory in Córdoba in Argentinien aufzubauen, lehnte Chandler 1868 ab. Stattdessen wurde er zunächst Aktuar in New York bei der Continental Life Insurance Co. und wechselte 1877 nach Boston als Berater an die Union Mutual Life Insurance Co.. Hier war Chandler so erfolgreich, dass er nach wenigen Jahren ein Vermögen ansaparen konnte, das ihm und seiner Familie ein sorgloses Leben ermöglichte.

Die Gewinner der 35. Runde

Mit dem Mai-Heft dieses Jahres endete die 35. Runde »Zum Nachdenken«. Alle 141 Löser, die von den zwölf Aufgaben zwischen Juni 2015 und Mai 2016 wenigstens neun richtige Lösungen einsandten, wurden bei der Verlosung der Preise berücksichtigt. Die Gewinner folgen in der Reihenfolge ihrer Ziehung durch unsere Glücksfee Diane.

Hauptpreis: Den **8-Zoll-Leichtbau-Reisedobson** im Wert von 1130 € von Fa. Hofheim Instruments gewinnt: *Adalbert Huss in Stuttgart*. Wir gratulieren herzlich!

2. Preis: Das **Newton-Teleskop BRESSER Messier NT-130/650 EXOS-2 GoTo** im Wert von 868 € von Fa. Bresser GmbH gewinnt: *Wolfgang Stammberger in Ostermiething*. Wir gratulieren!

139 Schweizer Taschenmesser »Rally«: *Peter Fischer, Daniel Höhne-Mönch, Jörg Dewitz, Bertram Kuhn, Joachim E. Keller, Remo Egger, Joachim Hochheim, Günter Pannach, Jens Döblitz, Wolfram Blendin, Franz-Georg*

Knell, Werner Rockenbach, Andreas Schirmer, Andrea Blumenhofer, Rainer Spurny, Willy Mahl, Heinz Göbel, Michael Klein, Bernd Leps, Brigitte Lindner, Fritz Schauer, Siegfried Weidner, Georg Bauer, Markus Hentschel, Selina Schube, Karl Clausecker, Wolfgang Schwab, Franz Hardt, Ansgar Heuser, Christoph Hollenbeck, Alexander Wankerl, Heinz-Werner Richter, Eva Spomer, Jannek Squar, Elmar Compans, Hendrik und Volker Früh, Matthias Grasshoff, Kurt Motl, Tobias Steinpilz, Hermann Knopf, Mario Lugger, Terence Lehmann, Johannes Wünsche, Helmut Baudisch, Thorsten Meisner, Heinrich Hauser, Andreas Frey, Siegfried Kurz, Gerd Marmitt, Gunther Kottschlag, Christoph Guber, Gert Traupe, Rüdiger Hagelweide, Peter Matzik, Ludwig Kirschhock, Gerhard Forster, Kurt Beier, Martin Fischer, Günter Breitkopf, Josef Hingsammer, Gerd Kunert, Holger Münz, Peter Kirsch, Helmut Preisinger, Paul Joachim Schüngel, Rolf-Günther Schmidt, Michael Senkel, Bodo Wichert, Christof Zorn, Christian Netzel, Walter Hauck, Reinhold Lühmann, Friedrich Moser, Horst Gers, Joachim Birke, Albert Brandenberger, Astronomie-AG der HEBO-Privat-

schule Bonn, Wolfgang Balzer, Manfred Geisel, Jens Haun, Urs Schaefer-Rolffs, S. Meißner, Bernd Schmalfeldt, Ignatius Raap, Andreas Münch, Klaus-Michael Köppl, Roman Prager, Christoph Petersen, Jürgen Schermer, Friedrich Kaul, Manfred Bauer, Reiner Guse, Reinhold Gottsheim, Jan Haller, Heinrich Krambeer, Tobias M. Jung, Gerhard Minich, Andres Sauerwald, Christian Overhaus, Manuel Schiffer, Klaus Rohe, Peter Vogt, Stefan Schuler, Gerhard Spindler, Bernd Quednau, Frank Scherie, Klaus Mischke, Günter Portisch, Norbert Forbrig, Johannes Nendwich, Olaf Bechmann, Hans-Peter Distler, Anette Anastasakis, Maik Gottschalk, Alexander Reinders, B. Matzas, Jan Thimo Grundmann, Max Nagel, Heinz Holz, Olaf Gottfried Kunze, Hartmut Prange, Günter Scholz, Felix Schechter, Manfred Ziegler, Hans-Gerd Wefels, Albrecht Thiele, Michael Kretzler, Hans-Peter Lange, Armin Moritz, Joachim Rahm, Robert H. Schertler, Reinhard Schuster, Kurt Teichmann, Günter Wahl, Ernst Streeruwitz, Norbert Würfl, Claus Zille, Friedel Götze, Achim Güth.

Herzlichen Glückwunsch! AXEL M. QUETZ

Seth Carlo Chandler

Im Jahr 1881 stieg er aus dem Versicherungsgeschäft aus und wechselte zurück in die Astronomie. Er ging zunächst an das Harvard Observatory, wo er ein neues Instrument aufbaute, das so genannte Almicantar zur Vermessung der scheinbaren Bewegung von Sternen. Damit entdeckte Chandler die heute so genannte Chandler-Periode (»Chandler Wobble«).



Seth Carlo Chandler (1846–1913) ist vor allem für seine Arbeiten zum Rotationsverhalten der Erde bekannt.

Für sie gibt es mehrere Erklärungsmodelle und Ursachen, darunter die Tatsache, dass die Erde nicht perfekt kugelförmig ist und obendrein einen elastischen Körper darstellt, der durch die Bewegung der Ozeane und Winde alles andere als starr ist. Die Erde taumelt daher bei der Drehung um die Symmetrieachse, und so wandert ihre Rotationsachse – und damit die Position von Nord- und Südpol – ständig über die Polgenden hinweg. Chandler entdeckte, dass eine Komponente dieser Polbewegung – die schon vorher durch die Arbeit von Karl Küstner bekannt war – mit einer Periodendauer von etwa 433 Tagen verläuft. Diese Bewegung wird von Bewegungen mit anderer Periodenlänge überlagert.

Ab 1885 arbeitete Chandler als Amateurastronom; er beobachtete Veränderliche, Kometen und Asteroiden. Im Jahr 1888 publizierte er eine Serie von drei Katalogen mit rund 1000 Veränderlichen. Er war ab 1896 auch Herausgeber des »Astronomical Journal« und arbeitete als Redakteur für den »Science Observer«. Chandler widmete sich später auch ausgiebig seinem Hobby: der Konstruktion und Optimierung von Modellsegelschiffen. A.L.

Kreuzworträtsel

Lösung aus SuW 5/2016: Durchblick

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

Gewinner aus Heft 5/2016

Gewinnspiel: *Das 3-D Mirascope* von AstroMedia: Thomas Vay, 97502 Euerbach. 71 richtige, 67 falsche Einsendungen. Lösung: 1b, 2c, 3a.

Wer war's?: *DVD »Wiederkehr des Mars?«:* Rüdiger Wemhöner, 46145 Oberhausen; Egon Kaiser, 48429 Rheine; Thorsten Meisner, 40215 Düsseldorf. 62 richtige, 10 falsche Einsendungen.

Kreuzworträtsel: *Das Newton-Spiegelteleskop* von AstroMedia: Günter Breitkopf, 13156 Berlin. 107 richtige Einsendungen.

Herzlichen Glückwunsch!