



Zum Nachdenken

Lösung zu »Gravitationswellen von GW150914, einem Doppelsystem aus zwei Schwarzen Löchern« aus SuW 4/2016

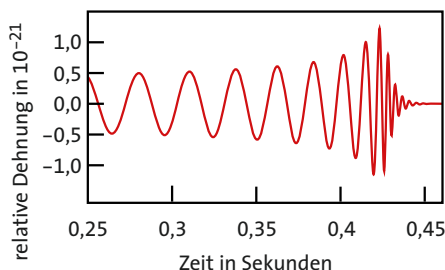
Aufgabe 1: Am 14. September 2015 liefen durch die je $L = 4$ km langen Interferometerarme der beiden Gravitationswellendetektoren LIGO H1 bei Hanford, Washington, und LIGO L1 bei Livingston, Louisiana, für das Verschmelzen zweier Schwarzer Löcher charakteristische Raumzeit-schwingungen. Sie verursachten dort unter der vereinfachenden Annahme senkrechter Einfallrichtung eine maximale Längenänderung:

$$\Delta L = h L \\ = 4 \cdot 10^{-18} \text{ m.}$$

Diese wirklich winzige Auslenkung ist um den Faktor

$$f = d_p / \Delta L = 425$$

kleiner als ein Proton mit seinem Durchmesser von $d_p = 1,7 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.



Die Grafik zeigt das Gravitationswellensignal GW150914 gemäß der relativistischen Simulation. Es enthält die letzten zwei Zehntelsekunden vor dem Verschmelzen der beiden Schwarzen Löcher.

Aufgabe 2: Für die erste vollständige Periode lässt sich in der Grafik oben die mittlere Frequenz $f_1 = 33,3 \text{ Hz}$ ablesen. Die zugehörige zeitliche Änderung der Frequenz ist: $\dot{f}_1 = 100,4 \text{ Hz/s}$. Für die zweite Periode gilt:

$f_2 = 36,35 \text{ Hz}$ und $\dot{f}_2 = 147,0 \text{ Hz/s}$. Siehe dazu auch den WIS-Beitrag »Die neue Welle« unter www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1377457. Die so genannte Chirp-Masse ist definiert als: $\mathcal{M} = (M_1 \cdot M_2)^{3/5} / (M_1 + M_2)^{1/5}$, wobei M_1 und M_2 die Massen der beiden Schwarzen Löcher sind. Andererseits gilt:

$$\mathcal{M} = \frac{c^3}{G} \left[\frac{5}{96} \pi^{-8/3} f^{-11/3} \dot{f} \right]^{3/5}$$

Mit den obigen Frequenzangaben folgt die Chirp-Masse des Systems aus Schwarzen Löchern zu:

$$\mathcal{M}_1 = 7,78 \cdot 10^{31} \text{ kg} = 39,1 M_\odot, \\ \mathcal{M}_2 = 8,09 \cdot 10^{31} \text{ kg} = 40,7 M_\odot.$$

Dies liegt in Anbetracht der simplen Vorgehensweise wunderbar dicht am veröffentlichten Wert $\mathcal{M} \approx 30 M_\odot$. AMQ

Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Anette Anastasakis, Sandhausen; Andrea Blumenhofer, Küps-Johannisthal; Brigitte Lindner, A-Wien; Selina Schube, Bad Dürkheim; Eva Spomer, Wetzlar; Margit Zink, Wendlingen; Astronomie-AG der HEBO-Privatschule Bonn; W. Balzer, Hattlingen; H. Baudisch, A-Wien; G. Bauer, Farchant; M. Bauer, Wuppertal; O. Bechmann, Weyhausen; K. Beier, Reichling; T. Birk, Frankenberger; J. Birke, Handeloh; W. Blöndin, Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, Augsburg; 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; E. Edler v. Malyevacz, Korntal-Münchingen; R. Egger, CH-Adetswil; M. Fischer, Emskirchen; P. Fischer, Falkenstein; N. Forbrig, Lichtenstein; G. Forster, Heidelberg; A. Frey, Ginsheim; A. Fuchs, Erkelenz; M. Geisel, Lörrach; L. Geldmann, Ganderkesee; H. Gers, Meschede; J. Glattkowski, Dielheim; H. Göbel, Lörrach; F. Götze, Gummersbach; M. Gottschalk, Konstanz; R. Gottsheim, Dortmund; M. Grasshoff, Schongau; J. Th. Grundmann, Bremen; Chr. Guber, Potsdam; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; A. Haag, Rodgau; J. Haller, Leverkusen; F. Hardt, Ehningen; W. Hauck, Hagen; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; H. Hauser, Ulm; M. Hentschel, Rhede; A. Heß, Offenbach/M.; H.-D. Hettstedt, Isernhagen; A. Heuser, Euskirchen; J. Hingsammer, Altdorf; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; D. Höhne-Mönch, Dittellbrunn; Chr. Hollenbeck, Mönchengladbach; H. Holz, Neuried; A. Huss, Stuttgart; T. M. Jung, Eurasburg; M. Kaschke, Oberkochen; F. Kaul, Dittellbrunn; 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, Wilhelmsfeld; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz; O. G. Kunze, Marburg; S. Kurz, Altbach; H.-P. Lange, Mas-

senhausen; T. Lehmann, Troisdorf; W. Lehmann, Muldestausee; B. Leps, Berlin; W. Mahl, Ditzingen; G. Marmitt, Bensheim; B. Matzas, Echting-Dietersheim; P. Matzik, Burscheid; Th. Meisner, Düsseldorf; S. Meißner, Duisburg; R. Melcher, Bad Schönborn; G. Minich, Reppenstedt; K. Mischke, Gärtringen; A. Moritz, Ehringshausen; F. Moser, Duisburg; K. Motl, Geretsried; A. Münch, Alteglofsheim; H. Münz, Aalen; M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; Chr. Overhaus, Borken; G. Pannach, Braunschweig; Chr. Petersen, Drochtersen; F. Pietsch, Schwülper; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänsersdorf; H. Prange, Netphen; H. Preisinger, Wehmichl/Edenland; S. Pust, Aldenhoven; B. Quednau, Langenberg; I. Raap, Königsbrunn; J. Rahm, Münster-Sarmsheim; A. Reichert, Lübendorf; A. Reinders, Ravensburg; H.-W. Richter, Dortmund; W. Rockenbach, Biebrich; E. Rössler, Berlin; A. Sauerwald, Bottrop; U. Schaefer-Rolfs, Rostock; F. Schauer, Kirchzarten; F. Schechter, Berlin; F. Scher, Ennepetal; J. Schermer, Berlin; 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-Regensburg; S. Schuler, Püttlingen; W. Schwab, Heidelberg; W. Schwarze, Ronnenberg; M. Senkel, Kirchseon; G. Spindler, Waldshut-Tiengen; R. Spurny, A-Wien; J. Squar, Uetersen; W. Stammberger, A-Ostermiething; E. Stegmaier, Zornheim; T. Steinpilz, Viersen; E. Streeruwitz, A-Wien; K. Teichmann, Timmendorfer Strand; A. Thiele, Aachen; G. Traupe, Lilienthal; F. Treisch, Würzburg; P. Vogt, Sörup; G. Wahl, Erolzheim; A. Wankerl, Maisach; S. Weidner, Fellbach; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; J. Wünsche, Löbau; N. Würfl, Sulzbach; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg; Chr. Zorn, Korntal-Münchingen.

Insgesamt 155 Einsendungen, Fehlerquote: 0

ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Hefts finden Sie auf Seite 19.



Er war's im Mai:

Es war Arthur von Auwers (geboren am 12. September 1838 in Göttingen, gestorben am 24. Januar 1915 in Groß-Lichterfelde bei Berlin). Sein Vater Gottfried Daniel war Rittmeister an der Göttinger Universität. Er und seine Ehefrau Emma, geborene Borkenstein, verstarben, als Arthur noch Schüler war. Als Vollwaise wechselte er daraufhin von seinem Göttinger Gymnasium auf das renommierte Kloster Schulpforta.

Nach einem Astronomiestudium in Göttingen und später in Königsberg promovierte er über die Doppelsterne Prokyon und Sirius und wurde Sternwartenassistent in Gotha, wohin er mit seiner frisch angetrauten Ehefrau Marie Henriette Jacobi zog. Im Jahr 1866 wechselte Auwers nach Berlin und ging als Astronom an die preußische Akademie der Wissenschaften. Hier verbrachte er den Rest seines (Berufs-)Lebens, und hier verfasste er die Arbeiten, die ihn berühmt machten: seine extrem sorgfältig bearbeiteten Sternkataloge. Er stützte sich maßgeblich auf die Arbeiten des britischen Astrometrie-Pioniers James Bradley. Dessen Aufzeichnungen,

»Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich unter www.sterne-und-weltraum.de/aktuell/ das aktuelle »Zum Nachdenken« als PDF finden. Ältere Fassungen: Menü → Archiv → Sterne und Weltraum → Jahrgang → Ausgabe.

Einsendungen

■ Lösungen werden als Brief, Fax (06221 528-377) und als PDF an die E-Mail-Adresse zum-nachdenken@sterne-und-weltraum.de akzeptiert. ■ Die Redaktion empfiehlt, Namen und Anschrift auf dem Lösungsblatt zu notieren. ■ Lösungen, die nach dem angegebenen Stichtag eintreffen, können leider nicht berücksichtigt werden.

Die 36. Runde

Mit diesem Heft beginnt die neue Runde »Zum Nachdenken«. Sie endet mit der Ausgabe im Mai-Heft 2017. Löser mit mindestens neun richtigen Einsendungen nehmen an der Preisverlosung teil. Zu gewinnen sind wieder attraktive Hauptpreise (siehe rechts). Viel Spaß beim Nachdenken! AMQ

Hauptpreis der 36. Runde

Die Firma Hofheim Instruments hat erneut ihren **12-Zoll-Leichtbau-Reisedobson** im Wert von 2350 Euro als Preis ausgelobt. Das aufgebaute Teleskop besitzt eine Masse von zwölf Kilogramm. Es lässt sich für die Reise ganz leicht zerlegen und wieder aufbauen. Im Transportzustand füllt der leistungsstarke 12-Zoll-f/5-Newton in Gitterbauweise auf seiner klassischen Dobson-Montierung zwei handliche Trageboxen. Das Gerät ist stabil und solide aus Aluminium, Edelstahl und Birke-Multiplexholz gefertigt und kann für das bequeme Aufsuchen von Objekten am Nachthimmel auch mit drahtlosen, digitalen Teilkreisen ausgestattet werden. www.hofheiminstruments.com



2. Preis

Das BRESSER Messier AR-127L/1200 Hexafoc EXOS-2/EQ5 ist ein klassischer Fraunhofer-Refraktor mit dem Öffnungsverhältnis $f/9,4$. Mit dabei: Rohrschellen mit Tragegriff, Kamerahalterung, 1,25-Zoll-Zenitspiegel, 8×50-Sucher, Edelstahlrohr-Stativ. Gestiftet von Fa. Bresser GmbH, Rhede, Westfalen. www.bresser.de



Arthur von Auwers

angefangen 1755, waren postum – und nicht bereinigt – publiziert worden; 1819 veröffentlichte Friedrich Wilhelm Bessel anhand der Originalmanuskripte eine durchgesehene Fassung unter dem Titel »Fundamenta astronomiae«. Auwers tilgte Fehler aus beiden Fassungen und bereinigte die Datensammlung



Der Astronom Arthur von Auwers (1838–1915) ist vor allem für seine hochpräzisen Sternkataloge bekannt.

nach Abgleich mit anderen historischen Sternerfassungen. Im Jahr 1879 veröffentlichte er den ersten Fundamentalkatalog der nördlichen Hemisphäre. 1900 schlug er der Akademie der Wissenschaften vor, auf Grund von neueren, international koordinierten Durchmusterungsprojekten und historischen Aufzeichnungen einen Metakatalog (»Katalog der Kataloge«) zu erstellen, er sollte die Beobachtungen der letzten 150 Jahre (1750 bis 1900) umfassen. Das Akademieprojekt wurde als »Geschichte des Fixsternhimmels« erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts abgeschlossen.

Arthur von Auwers nahm außerdem an einigen wichtigen Forschungsexpeditionen zu Planetendurchgängen und Finsternissen teil: So beobachtete er zur Bestimmung der Sonnenparallaxe die Venusdurchgänge 1874 im ägyptischen Luxor und 1882 in Chile. Die Daten veröffentlichte er in sechs Bänden. Im Jahr 1889 vermaß er die Sonnenparallaxe vom afrikanischen Kap der guten Hoffnung aus, gemeinsam mit seinem britischen Kollegen Davis Gill – und zwar anhand eines Asteroidendurchgangs. T. H.

Kreuzworträtsel

Lösung aus SuW 4/2016: Gletscher

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

Gewinner aus Heft 4/2016

Gewinnspiel: Das Newton-Spiegelteleskop von AstroMedia: Tim Adler, 69121 Heidelberg. 125 richtige, 24 falsche Einsendungen. Lösung: 1b, 2a, 3c.

Wer war's?: Buch »Warum nimmt der Mond zu und ab«: Barbara Oettinger, 73547 Lorch; Horst Valentin, 14943 Luckenwalde. 71 richtige, 11 falsche Einsendungen.

Kreuzworträtsel: Das Newton-Spiegelteleskop von AstroMedia: Achim Woerner, 49744 Geeste-Dalum. 93 richtige Einsendungen.

Herzlichen Glückwunsch!