



# Zum Nachdenken

## Lösung zu »Erwärmung durch Gezeitenreibung« aus SuW 8/2015

**Aufgabe 1:** Die seit der Entstehung des Mondes in seinem Inneren immer noch aktive Wärmequelle speist sich aus dem Zerfall radioaktiver Elemente. Durch Wärmeleitung von innen nach außen resultiert an der Oberfläche derzeit ein Wärmefluss von immer noch  $F_H = 11,5 \text{ mW/m}^2$ . Da die Zahl der radioaktiven Teilchen exponentiell mit der Zeit abnimmt, muss der Wärmefluss in früheren Zeiten höher gewesen sein. Mit dem Mondradius  $R_M = 1738 \text{ km}$  ergibt sich die gesuchte gesamte Heizleistung  $P_H$  des Mondes zu:

$$P_H = 4 \pi R_M^2 F_H = 4,37 \cdot 10^{11} \text{ W.}$$

Mit dem Stand von Ende 2014 entsprechen diese 437 Gigawatt der insgesamt auf der Erde mit 440 Kernkraftwerken produzierten elektrischen Leistung von 404 Gigawatt.

**Aufgabe 2:** Der gesuchte Energiefluss folgt mit Hilfe der angegebenen Gleichung

$$\dot{E} = \frac{36}{19} \pi \frac{\rho^2 n^5 R^7 e^2}{\mu Q},$$

der mittleren Dichte des Mondes  $\rho_M = 3,34 \text{ g/cm}^3$ , seiner mittleren Bahnbewegung  $n_M = 2 \pi/P_M$  und der Umlaufperiode  $P_M = 27,3217$  Tage, der Bahnexzentrizität  $e_M = 0,0549$ , der mittleren Steifigkeit des Mondmaterials  $\mu_M = 6,7 \cdot 10^{10} \text{ Pa}$  (nicht Pa s) und der spezifischen Dissipation  $Q = 100$  zu:

$$\dot{E} = 1,91 \cdot 10^8 \text{ W.}$$

Verglichen mit der Zerfallswärme ist dies nur ein kleiner Teil:  $\dot{E}/P_H = 0,44$  – weniger als ein halbes Promille.

**Aufgabe 3:** Der Jupitermond Io unterliegt weitaus heftigeren Gezeiteneinflüssen als

### ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Heftes finden Sie auf Seite 23.



unser Erdmond. Zwar ist seine mittlere Dichte  $\rho_{Io} = m_{Io}/(4 \pi R_{Io}^3/3) = 3,53 \text{ g/cm}^3$  ( $m_{Io} = 8,94 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ ,  $R_{Io} = 1821,6 \text{ km}$ ) und die Steifigkeit mit derjenigen des Mondes vergleichbar, jedoch gehen die viel schnellere Revolution um Jupiter mit der fünften, und der etwas größere Radius sogar mit der siebenten Potenz in die Gleichung ein. Es folgt:

$$\dot{E}_{Io} = 1,65 \cdot 10^{12} \text{ W.}$$

Die durch Gezeitenkräfte verursachte Heizleistung  $\dot{E}_{Io}$  für Io ist um einen Faktor  $\dot{E}_{Io}/\dot{E} = 8630$  größer als beim Mond. Während der weitaus kleinere Beitrag beim Mond immerhin für eine weitere flüssige Zone bei einem Radius von rund 500 Kilometern sorgt, reicht die Gezeitenheizung bei Io sogar für heftigen Vulkanismus.

AXEL M. QUETZ

### Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Anette Anastasakis, Sandhausen; Andrea Blumenhofer, Küps-Johannisthal; Mira Ennes, Rödental; Brigitte Lindner, A-Wien; Eva Ponick, Lünen; Selina Schube, Bad Dürkheim; Eva Spomer, Wetzlar; Cornelia Wiberg, Werl; Astro-AG, Paul-Pfingst-Gymnasium, Hersbruck; Astronomie-AG der HEBO-Privatschule Bonn; R. Albers, Lappersdorf; B. Altunsoy, Köln; W. Balzer, Hattingen; H. Baudisch, A-Wien; G. Bauer, Farchant; O. Bechmann, Weyhausen; K. Beier, Reichling; T. Birk, Frankenberg; J. Birke, Handeloh; W. Blindin, Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, Augsburg; A. Brandenberger, CH-Rorschacherberg; G. Breitkopf, Berlin; R. Burgmeier, Regensburg; K. Clausecker, Möckmühl; A. Dannhauer, Ilsenburg; J. Dewitz, Epenwörden; H.-P. Distler, Henstedt-Ulzburg; J. Döblitz, Stuttgart; E. Edler v. Maljevacz, Kornal-Münchingen; R. Egger, CH-Adetswil; K. E. Engel, Erlangen; H. Fischer, A-Frauenkirchen; M. Fischer, Emskirchen; P. Fischer, Falkenstein; F. Förste, Berlin; N. Forbrig, Lichtenstein; G. Forster, Heidelberg; A. Frey, Ginsheim; R. Friedemann, Chemnitz; H. und V. Früh, Karlsruhe; M. Geisel, Lörrach; L. Geldmann, Ganderkesee; H. Gers, Meschede; J. Glatkowski, Dielheim; H. Göbel, Lörrach; F. Götz, Gummersbach; R. Gottsheim, Dortmund; M. Grasshoff, Schongau; K. Grießer, Gengenbach; Chr. Guber, Wittenberg OT Abtsdorf; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; A. Haag, Rodgau; R. Hagelweide, Wörpswede; J. Haller, Leverkusen; J. Hampp, Erlangen; F. Hardt, Ehningen; W. Hauck, Nürnberg; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; H. Hauser, Ulm; M. Hentschel, Rhede; H. Henzl, Bad Lauterberg; A. Heuser, Euskirchen; J. Hingsammer, Altdorf; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; Chr. Hollenbeck, Mönchengladbach; H. Holz, Neuried; 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. Kneil, Hanau; H. Knopf, Baden-Baden; K.-M. Köppl, Krefeld; G. Kottschlag, Siegen; M. Kretzler, Wilhelmshof; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz; O. G. Kunze, Marburg; S. Kurz, Altbach;

H.-P. Lange, Massenhausen; T. Lehmann, Troisdorf; B. Leps, Berlin; R. Lühmann, Allensbach; M. Lugger, A-Villach; B. Mader, Bonn; W. Mahl, Ditzingen; G. Marmitt, Bensheim; B. Matzas, Eching-Dietersheim; P. Matzik, Burscheid; Th. Meisner, Düsseldorf; S. Meißner, Duisburg; R. Melcher, Bad Schönborn; M. Mendl, Grafing b. München; G. Minich, Reppenstedt; K. Mischke, Gärtringen; A. Moritz, Ehringshausen; F. Moser, Duisburg; K. Motl, Getretsdorf; A. Münch, Altglofsheim; H. Münz, Aalen; M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; Chr. Netzel, Aachen; A. Neumer, Ludwigshafen; Chr. Overhaus, Borken; G. Pannach, Braunschweig; Chr. Petersen, Drochtersen; M. Pistor, Neckargemünd; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänsersdorf; H. Prange, Netphen; H. Preisinger, Weihmichl/Edenland; B. Quednau, Langenberg; I. Raap, Königsbrunn; J. Rahm, Münster-Sarmsheim; A. Reinders, Ravensburg; H.-W. Richter, Dortmund; W. Rockenbach, Biebern; K. Rohe, Glonn; A. Sauerwald, Bottrop; U. Schaefer-Rolffs, Rostock; F. Schauer, Kirchzarten; F. Schechter, Berlin; F. Scherie, Ennepetal; J. Schermer, Berlin; R. H. Schertler, A-Braunau am Inn; M. Schiffer, Überlingen; A. Schirmer, Munster; B. Schmalfeldt, Aumühle; R.-G. Schmidt, Recklinghausen; J. Schnichels, Euskirchen; M. Schnyder, Erkelenz; G. Scholz, Essingen; H.-J. Schreyer, Kehlbach; E. Schröter, Waghäusel; P. J. Schüngel, CH-Regensdorf ZH; S. Schuler, Püttlingen; R. Schuster, Altenkunstadt; W. Schwab, Heidelberg; M. Senkel, Kirchseeon; G. Spindler, Waldshut-Tiengen; R. Spurny, A-Wien; K. Strauß, Ingolstadt; E. Streuerwitz, A-Wien; K. Teichmann, Timmendorfer Strand; A. Thiele, Aachen; G. Traupe, Lilienthal; F. Treisch, Würzburg; P. Usov, Hamburg; P. Vogt, Sörrup; G. Wahl, Erolzheim; A. Wankel, Maisach; H.-G. Wefels, Duisburg; S. Weidner, Fellbach; K. Weisensee, Glauburg; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; N. Würfl, Sulzbach; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg; M. Zimmer, Friesenheim; Chr. Zorn, Kornal-Münchingen; W. Zumach, Augsburg.

Insgesamt 168 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %

### Er war's im September:

Es war Rudolph Minkowski (geboren am 28. Mai 1895 in Straßburg, gestorben am 4. Januar 1976 in Berkeley). Minkowskis Vater war ein Pathologieprofessor, einer seiner Onkel der Mathematiker Hermann Minkowski. Rudolph Minkowski studierte Physik in Breslau und promovierte auch dort. Im Jahr 1922 wechselte er an die Universität Hamburg, wo er 1926 Privatdozent und 1931 Professor wurde. In Hamburg lernte er auch Walter Baade kennen, der zunächst an der Hamburger Sternwarte arbeitete, dann für Forschungsaufenthalte nach Amerika ging und 1931 eine Stelle am Mount Wilson Observatory annahm.

Baade drängte Minkowski, der seit 1926 mit Luise Amalie David verheiratet war, nach dem Machtantritt der Nationalsozialisten ins amerikanische Exil zu gehen und holte ihn auf den Mount Wilson, wo Minkowski bis zu seiner Pensionierung 1960 forschte. Die beiden verband eine enge Freundschaft und gemeinsame astronomische Forschungsinteressen: Zusammen entdeckten sie rund 200 neue Planetarische Nebel und entwickelten die Einteilung von Super-

## »Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich unter [www.sterne-und-weltraum.de/aktuell/](http://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](mailto: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 35. Runde

Mit dem Juni-Heft begann die neue Runde »Zum Nachdenken«. Sie endet mit der Ausgabe im Mai-Heft 2016. 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 35. Runde

Die Firma Hofheim Instruments, Hofheim, hat für die 35. Runde ihren **8-Zoll-Leichtbau-Reisedobson** im Wert von 1130 Euro als Preis ausgelobt. Zusammengepackt ist es ein nur 8 Kilogramm leichtes Handgepäckstück, aufgebaut ein leistungsstarker 8-Zoll-f/4-Newton in Gitterbauweise auf einer klassischen Dobson-Montierung. Das einfach zu handhabende Gerät ist stabil und solide aus Aluminium, Edelstahl und Birke-Multiplexholz gefertigt. Aus dem umfangreichen Zubehörprogramm erhält der Gewinner Zubehör im Wert von 230 Euro: einen Leuchtpunktsucher, ein Friktionssystem, einen 1,25-Zoll-Adapter und einen Laser-Kollimator. [www.hofheiminstruments.com](http://www.hofheiminstruments.com)



Leuchtpunktsucher



## 2. Preis

Mit 130 Millimeter Öffnung bietet das BRESSER Messier NT-130/650 EXOS-2 GoTo Newton-Teleskop leichte Transportabilität. Das GoTo-System hält mehr als 100 000 Himmelsobjekte parat und hat zudem Platz für eigene Objekte. Zum Lieferumfang gehören das Teleskop und die Montierung mit Stativ. Gestiftet von Fa. Bresser GmbH, Rhede, Westfalen. [www.bresser.de](http://www.bresser.de)

## Rudolph Minkowski

novae in zwei Kategorien, abhängig vom Vorkommen oder Fehlen von Wasserstoff im Spektrum. Bekannt ist Minkowski heute für die Klassifizierung von Supernovae, die unter anderem auch für die Entfernungsabschätzung verwendet wird.

Bereits fünf Jahre nach seiner Übersiedlung nahm er gemeinsam mit seiner

Frau die US-amerikanische Staatsangehörigkeit an. Der Arbeitsschwerpunkt Minkowskis und Baades verlagerte sich nach dem Zweiten Weltkrieg zur aufkommenden Radioastronomie. Beide halfen dabei, neu entdeckte Radioquellen optisch Sternen zuzuordnen. Darunter waren die Überbleibsel von Supernovae in unserer Galaxie, wie beispielsweise Cassiopeia A, aber auch Radiogalaxien wie Cygnus A und Perseus A.

Neben Mount Wilson waren Minkowski und Baade ab den späten 1940er Jahren auch am Mount Palomar Observatory tätig, hier leitete Minkowski die wichtigste fotografische Durchmusterung des nördlichen Sternenhimmels im 20. Jahrhundert: den Palomar Observatory Sky Survey (POSS I).

Als Minkowski 1960 in Mount Wilson pensioniert wurde, zog er mit seiner Frau nach Berkeley. In den folgenden fünf Jahren arbeitete er als Forscher am Radioastronomischen Labor der Universität Kalifornien, bis er 1965, mit 70 Jahren, zum zweiten Mal pensioniert wurde. Rudolph Minkowski starb am 4. Januar 1976 im Alter von 81 Jahren. A.L.



Rudolph Minkowski (1895–1976)

## Kreuzworträtsel

Lösung aus SuW 8/2015: Kiepenheuer

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
|   | V | A |   | P | O |
| R | E | G | E | N | W |
| I | L | U | E | F | T |
| I | N | D | B | C | A |
| O | S | I | R | I | S |
| T | G | S | C | H | I |
| E | I | S | H | T | A |
| T | I | T | A | N | I |
| N | A | H | C | R | I |
| L | A | I | K | A | E |

## Gewinner aus Heft 8/2015

**Gewinnspiel:** Buch »Kosmische Kollisionen – Der Hubble-Atlas der Galaxien«: Wolfgang Roiser, A-3430 Tulln. 208 richtige, 15 falsche/doppelte Einsendungen. Lösung: 1b, 2c, 3c.

**Wer war's?:** Buch »Wie Columbus fliegen lernte«: Bernd Nickel, 02943 Weißwasser; Werner Gerhardt, 42697 Solingen. 69 richtige, 2 falsche Einsendungen.

**Kreuzworträtsel:** Das Tisch-Planetarium von AstroMedia: Gerald Tietze, 18528 Seelen auf Rügen. 65 richtige Einsendungen.

Herzlichen Glückwunsch!