



# Zum Nachdenken

## Lösung zu »Massenobergrenze für Schwarze Löcher« aus SuW 7/2016

**Aufgabe 1:** Aus der Beziehung  $\varrho = \Sigma/(2H)$  zwischen Flächendichte  $\Sigma$ , Dicke der Akkretionsscheibe  $2H$  und mittlerer Dichte der Scheibe  $\varrho$  sowie dem Stabilitätskriterium gegen Selbstgravitation  $c_s \Omega/(\pi G \Sigma) > 1$  folgt:

$$\Sigma = 2\varrho H < \frac{c_s \Omega}{\pi G}.$$

Durch Einsetzen der Schallgeschwindigkeit  $c_s = H \Omega$  und der Kreisfrequenz der Scheibenteilchen  $\Omega = (GM/R^3)^{1/2}$  um das Schwarze Loch der Masse  $M$  sowie Teilens durch die Scheibendicke ergibt sich nacheinander:

$$\varrho < \frac{\Omega^2}{2\pi G} = \frac{M}{2\pi R^3}.$$

Dies ist das gesuchte Kriterium für die maximale Dichte in der Akkretionsschei-

be, bevor in ihr Selbstgravitation wirksam wird und weiteren Materietransport zum Schwarzen Loch hin be- oder sogar verhindert.

**Aufgabe 2:** Die Masse der Scheibe  $M_R$  bis zu einem Radius  $R$  lässt sich als Produkt von Scheibenfläche, ihrer Dicke und der mittleren Dichte aufschreiben:

$$M_R = \pi R^2 2H \varrho.$$

Mit der Dichte aus dem Stabilitätskriterium in Aufgabe 1 folgt daher:

$$M_R < \frac{H}{R} M.$$

Die gesuchte Scheibenmasse  $M_R$  hängt daher nur vom Verhältnis der Scheibendicke zum untersuchten Radius und der Masse des Schwarzen Lochs ab.

### ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Hefts finden Sie auf Seite 24.



**Aufgabe 3:** Wenn der innerste stabile Kreisorbit um das Schwarze Loch  $R_{\text{ISCO}} = \varphi GM/c^2$  vergleichbar wird mit dem Selbstgravitationsradius  $R_{\text{sg}} = 3 \cdot 10^{14} \text{ m} \cdot \alpha^{14/27} \eta^{8/27} L^{-8/27} M_8^{1/27}$ , dann stoppt die Akkretion von der Scheibe auf das Schwarze Loch:

$$R_{\text{ISCO}} \approx R_{\text{sg}} \\ \varphi GM/c^2 \approx 3 \cdot 10^{14} \text{ m} \cdot \alpha^{14/27} \eta^{8/27} \cdot L^{-8/27} M^{1/27} (10^8 M_\odot)^{-1/27}.$$

Das Eliminieren von  $M$  ergibt mit anschließendem Exponenzieren mit  $27/26$ :

$$M \approx (3 \cdot 10^{14} \text{ m})^{27/26} \cdot \alpha^{7/13} \eta^{4/13} \cdot L^{-4/13} (10^8 M_\odot)^{-1/26} (c^2/(\varphi G))^{27/26}.$$

Nimmt man moderat für den Faktor  $\varphi = 2$  an, so folgt mit  $\alpha = 0,1$ ,  $\eta = L = 1$  die maximale Masse von Schwarzen Löchern zu:

$$M = 7.6 \cdot 10^{40} \text{ kg} \\ = 38 \text{ Milliarden } M_\odot. \quad \text{AMQ}$$

### Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Anette Anastasakis, Sandhausen; Ilse Blümel, Obertraubling; Mira Ennes, Rödental; Anke Keidel, Berlin; Brigitte Lindner, A-Wien; Eva Ponicnik, Lünen; Selina Schube, Bad Dürkheim; Katrin Stauch, Coswig; Margit Zink, Wendlingen; Astronomie-AG der HEBO-Privatschule Bonn; R. Albers, Lappersdorf; W. Balzer, Hattingen; H. Baudisch, A-Wien; G. Bauer, Farchant; M. Bauer, Wuppertal; O. Bechmann, Velpke; W. Blendin, Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, Augsburg; A. Brandenberger, CH-Rorschacherberg; G. Breitkopf, Berlin; R. Burgmeier, Regensburg; K. Clausecker, Künzelsau; E. Compans, Langelau; H.-P. Distler, Henstedt-Ulzburg; J. Döblitz, Stuttgart; A. M. Dufter, Inzell; K. E. Engel, Erlangen; M. Fischer, Emskirchen; N. Forbrig, Lichtenstein; G. Forster, Heidelberg; H. und V. Früh, Karlsruhe; M. Geisel, Lörrach; H. Gers, Meschede; J. Glattkowski, Dielheim; H. Göbel, Lörrach; F. Götz, Gummersbach; M. Gottschalk, Konstanz; R. Gottsheim, Dortmund; M. Grasshoff, Schongau; J. Th. Grundmann, Bremen; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; F. Hänel, Freiberg; R. Hagelweide, Worpsswede; J. Haller, Leverkusen; F. Hardt, Ehningen; W. Hauck, Hagen; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; H. Hauser, Ulm; H.-D. Hettstedt, Isernhagen; J. Hingsammer, Altdorf; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; D. Höhne-Mönch, Dittelbrunn; Chr. Holtenbeck, Mönchengladbach; A. Huss, Stuttgart; D. Imrich, A-Wien; T. M. Jung, Eurasburg; M. Kaschke, Oberkochen; F. Kaul, Dittelbrunn; P. Kirsch, A-Linz; L. Kirschhock, Pommelsbrunn; M. Klein, Altdorf; F.-G. Knell, Hanau; H. Knopf, Baden-Baden; K.-M. Köppl, Krefeld; G. Kottschlag, Siegen; H. Krambeer, Wismar; M. Kretzler, Wilhelmsfeld; O. Kristiansen, NO-Tonsberg; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz; O. G. Kunze, Marburg; S. Kurz, Altbach; H.-P. Lange, Massenhausen; B. Leps, Berlin; R.

Lühmann, Allensbach; M. Lugger, A-Villach; W. Mahl, Ditzingen; G. Marmitt, Bensheim; B. Matzas, Eching-Dietersheim; P. Matzik, Burscheid; R. Melcher, Bad Schönborn; G. Minich, Reppenstedt; K. Mischke, Gärtringen; F. Moser, Duisburg; K. Motl, Geretsried; A. Münch, Alteglofsheim; H. Münz, Aalen; M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; Chr. Netzel, Aachen; Chr. Overhaus, Borken; G. Pannach, Braunschweig; Chr. Petersen, Drochtersen; F. Pietsch, Schwülper; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänsersdorf; H. Prange, Netphen; H. Preisinger, Weimichl/Edenland; B. Quednau, Langenberg; I. Raap, Königsbrunn; J. Rahm, Münster-Sarmsheim; A. Reinders, Ravensburg; A. Richter, Leonberg-Höfingen; W. Rockenbach, Biebers; E. Rössler, Berlin; K. Rohe, Glonn; A. Sauerwald, Bottrop; U. Schaefer-Rolffs, Rostock; F. Schauer, Kirchzarten; F. Schechter, Berlin; F. Scherie, Ennepetal; J. Schermer, Berlin; M. Schiffer, Überlingen; A. Schirmer, Munster; B. Schmalfeldt, Aumühle; R.-G. Schmidt, Recklinghausen; G. Scholz, Essingen; J. Schröder, Grevenbroich; E. Schroeder, Norderstedt; P. J. Schüngel, CH-Regensdorf ZH; S. Schuler, Püttlingen; R. Schuster, Altenkunstadt; W. Schwab, Heidelberg; M. Senkel, Kirchseeon; U. Seydel, Niedergörsdorf; W. Simons, B-Antwerpen; G. Spindler, Waldshut-Tiengen; R. Spurny, A-Wien; J. Squar, Uetersen; W. Stammberger, A-Ostermething; A. Thiele, Aachen; G. Traupe, Lilienthal; F. Treisch, Würzburg; P. Vogt, Sörup; G. Wahl, Erolzheim; A. Wankel, Maisach; H.-G. Wefels, Duisburg; S. Weidner, Fellbach; Chr. Weis, Scheidegg; K. Weisensee, Glauburg; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; N. Würfl, Sulzbach; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg;

Insgesamt 146 Einsendungen, Fehlerquote: 0

### Er war's im August:

**E**s war Norman Robert Pogson (geboren am 23. März 1828 in Nottingham, England, gestorben am 23. Juni 1891 in Madras, Indien). Mit 16 Jahren verließ er die Schule und gelangte durch Vermittlung eines elterlichen Bekannten an ein Privatobservatorium in London. Dort machte sich der junge Pogson mit Berechnungen von Kometenumlaufbahnen einen Namen und ging sechs Jahre später, 1851, als Assistent an das Radcliff Observatory der Universität Oxford.

Nach einem gescheiterten Versuch, Direktor in Radcliff zu werden, wechselte er 1861 an die Sternwarte im indischen Madras, die er 30 Jahre lang leitete. Seine Leidenschaft galt der Beobachtung und Entdeckung von Asteroiden – er spürte im Lauf seines Lebens acht auf, vier davon von Indien aus. Den ersten in Madras entdeckten nannte er programmatisch »Asia«. Pogson wollte den südlichen Sternhimmel durchmustern, doch die Royal Astronomical Society betraute die Sternwarte in Sidney mit der Projektleitung. Pogson galt als widerspenstig und entzweite sich während seiner Jahre in Indien mit zahlreichen Kollegen in England.

## »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 36. Runde

Mit dem Juni-Heft begann 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! AXEL M. QUETZ

## 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](http://www.hofheiminstruments.com)



## 2. Preis

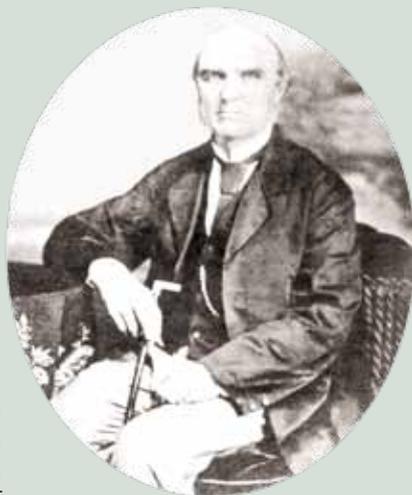
Das BRESSER Messier AR-127L/1200 Hexafoc EXOS-2/EQ5 ist ein klassischer Fraunhofer-Refraktor mit dem Öffnungsverhältnis  $f/9,4$ . Mit dabei: Rohrschellen mit Tragegriff, Kamerahalterung, 1,25-Zoll-Zenitspiegel, 8×50-Sucher, Edelstahlrohr-Stativ. Gestiftet von Fa. Bresser GmbH, Rhede, Westfalen. [www.bresser.de](http://www.bresser.de)

## Norman Robert Pogson

Ein Problem war auch, dass Norman Robert Pogson relativ wenig und seine Arbeiten oft mit Verspätung publizierte. Im Jahr 1882 veröffentlichte er in einem eigenen Buch seine bis dahin gemachten Entdeckungen, 1887 brachte er dann endlich seine Fixsternbeobachtungen heraus, zumindest einen ersten Band. Selbst seine wichtigste Arbeit zur Helligkeitsskala veröffentlichte er nicht gesondert: Darin

definierte er das bereits von dem antiken Astronomen Hipparch entwickelte System der Helligkeitsbestimmung von Sternen per Logarithmus, indem er fest schrieb, dass bei Verdopplung der scheinbaren Größe die Helligkeit eines Sterns um die fünfte Wurzel aus 100 zunehmen soll, also um einen Faktor von etwa 2,512 – dies ist die bis heute gültige »Pogsonsche Helligkeitsskala«. Erst 20 Jahre später setzte sie sich als Standard durch, nachdem Edward Charles Pickering sie seiner »Harvard Photometry« zu Grunde gelegt hatte.

Auch das Privatleben Pogsons durchlief immer wieder Tiefen: In Indien starb seine erste Frau, die er noch in Oxford geheiratet und die ihm elf Kinder geboren hatte, an der Cholera. Mit 54 Jahren vermählte sich der Astronom in Madras erneut, mit der vermutlich verwitweten Tochter eines britischen Armeeingehöri-gen, und bekam drei weitere Kinder. Sein ältester Sohn und nach dessen Tod seine älteste Tochter Elisabeth Isis halfen ihm in der Sternwarte, ebenso wie sein einheimischer Assistent, der Brahmanensohn Chinthamani Ragoonatha Chary. T.H.



Norman Robert Pogson (1828–1891)

## Kreuzworträtsel

Lösung aus SuW 7/2016: Tereschkowa

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

## Gewinner aus Heft 7/2016

**Gewinnspiel:** Buch »Astronomie in Theorie und Praxis«: Hannah Linde, 06258 Schkopau. 140 richtige, 29 falsche Einsendungen. Lösung: 1c, 2b, 3c.

**Wer war's?:** Buch »Das Ende der Nacht«: Regina Browatzki, 19288 Ludwigslust; Annemarie Volkmann, 25364 Bokel. 84 richtige Einsendungen.

**Kreuzworträtsel:** Das Newton-Spiegelteleskop von AstroMedia: Jan Haller, 51379 Leverkusen. 127 richtige Einsendungen.

Herzlichen Glückwunsch!