



Zum Nachdenken

Lösung zu »Hyper-Eddington-Akkretion«
aus SuW 3/2018

Aufgabe 1: a) Die gesuchte Form der Gleichung für die Eddington-Leuchtkraft folgt mit

$$\begin{aligned} \kappa &= 4 \pi c G \sigma_T^{-1} m_H \\ &= 6,325 \text{ m}^2/\text{s}^3 \\ &= 32\,712 L_\odot/M_\odot \end{aligned}$$

über $L_{\text{Edd}} = \kappa M_{\text{SL}}$ zu:

$$\begin{aligned} L_{\text{Edd}} &= \kappa M_{\text{SL}} \\ &= 32\,712 (M_\odot/M_{\text{SL}}) L_\odot. \end{aligned}$$

Dabei ist m_H die Masse eines Wasserstoffatoms, $m_H = 1,008 u$, und u ist die atomare Masseneinheit, mit $u = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

b) Das extrem massereiche Schwarze Loch des Quasars J1342+0928 mit der Masse $M_{\text{SL}} = 7,8 \cdot 10^8 M_\odot$ weist beim Alter des Universums $t_z = 690$ Millionen Jahre eine Eddington-Leuchtkraft von

$$L_{\text{EddSL}} = 2,55 \cdot 10^{13} L_\odot$$

auf. Das sind 64 Prozent seiner bolometrischen Leuchtkraft. Es leuchtet, so wie wir

es jetzt sehen, also stärker, als es das Eddington-Limit besagt.

Aufgabe 2: Die Ausgangsmasse $M_{\text{SL}}(t_0)$ des Schwarzen Lochs beim Alter von $t_0 = 50$ Millionen Jahren ergibt sich aus der Randbedingung $M_{\text{SL}}(t_z) = 7,8 \cdot 10^8 M_\odot$. Mit der Gleichung

$$M_{\text{SL}}(t) = M_0 \exp(t/t_0) \quad (2)$$

folgt durch Einsetzen der Werte bei $t = t_z$ zunächst der Skalierungsfaktor:

$$M_0 = M_{\text{SL}}(t_z) \exp(-t_z/t_0) = 792,2 M_\odot$$

Für $t = t_0$ ergibt sich schließlich:

$$M_{\text{SL}}(t_0) = M_0 e = 2153 M_\odot$$

Das ist ganz deutlich jenseits der Grenze von 1000 Sonnenmassen, ab der Hyper-Eddington-Akkretion vorliegen sollte, und worauf auch die jetzige bolometrische Leuchtkraft der Quelle zum Zeitpunkt t_z hinweist.

ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Hefts finden Sie auf Seite 18.



Zusatzaufgabe: Die Akkretionsrate $\dot{M}_{\text{Edd}} = dM/dt$ lässt sich durch die Masse des Schwarzen Lochs $M_{\text{SL}} = M$ ausdrücken:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{L_{\text{Edd}}}{\eta c^2} = \frac{\kappa}{\eta c^2} M.$$

Dies ist eine homogene, lineare Differentialgleichung erster Ordnung, die sich durch Trennung der Variablen M und t zu $M^{-1} dM = \tau dt$ umformen und durch Integration lösen lässt:

$$\int_{M_{\text{SL}}(t_0)}^M M^{-1} dM = \tau \int_{t_0}^t dt.$$

Dabei ist $\tau = \kappa/(\eta c^2) = 7,038 \cdot 10^{-16} \text{ s}^{-1}$. Es ergibt sich: $\ln M - \ln M_{\text{SL}}(t_0) = \tau (t - t_0)$. Exponenzieren führt zu:

$$M/M_{\text{SL}}(t_0) = \exp(\tau (t - t_0)).$$

Schließlich lässt sich $\tau = 1/t_0$ identifizieren, und so folgt:

$$M = (M_{\text{SL}}(t_0)/e) \cdot e^{t/t_0},$$

wobei $t_0 = 1/\tau = 45$ Millionen Jahre. AMQ

Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Elisabeth Arnold, Essenbach; Andrea Blumenhofer, Küps-Johannisthal; Ilse Blümel, Obertraubling; Eva Herrmann, Darmstadt; Anke Keidel, Berlin; Brigitte Lindner, A-Wien; Katrin Stauch, Coswig; Sieglinde Übermayer, A-Weikendorf; Margit Zink, Wendlingen; H. Baudisch, A-Wien; A. Bauer, Dresden; G. Bauer, Farchant; M. Bauer, Wuppertal; O. Bechmann, Velpke; K. Beier, Reichling; W. Blöndin, Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, Augsburg; L. Born, CH-Bern; A. Brandenberger, CH-Rorschacherberg; K. Clausecker, Künzelsau; E. Compans, Langenau; T. Cremer, Frankfurt; A. Dannhauer, Ilsenburg; H.-P. Distler, Henstedt-Ulzburg; J. Döblitz, Stuttgart; M. Fischer, Emskirchen; N. Forbrig, Lichtenstein; G. Forster, Heidelberg; M. Geisel, Lörrach; G. Gigl, Wolnzach; Th. Gigl, Dietersheim; J. Glattkowski, Dielheim; H. Göbel, Lörrach; M. Grasshoff, Schongau; G. Grauf, Augsburg; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; F. Hänel, Freiberg; J. Haller, Leverkusen; J. Hampp, Erlangen; W. Hauck, Hagen; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; H. Hauser, Ulm; F. Heimerl, Gilching; G. Hesse, Crailsheim; H.-D. Hettstedt, Isernhagen; A. Heuser, Euskirchen; W. Heydrich, Emmendingen; J. Hingsammer, Altdorf; L. Hitzky, L-Walferdange; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; Chr. Hollenbeck, Mönchengladbach; A. Huss, Stuttgart; T. M. Jung, Eurasburg; M. Kaschke, Oberkochen; F. Kaul, Dittelbrunn; P. Kirsch, A-Linz; L. Kirschhock, Pommelsbrunn; N. Klingler, CH-Oerlingen; F.-G. Knell, Hanau; H. Knopf, Baden-Baden; K.-M. Köppl, Krefeld; H. Krambeer, Wismar; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz;

H.-P. Lange, Massenhausen; B. Leps, Berlin; R. Lühmann, Allensbach; B. Matzas, Echting-Dietersheim; P. Matzik, Burscheid; G. Minich, Reppenstedt; K. Mischke, Gärtringen; F. Morherr, Dresden; A. Moritz, Ehringshausen; K. Motl, Geretsried; A. Münch, Altglofsheim; Z. M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; Chr. Netzler, Aachen; Chr. Overhaus, Borken; G. Pannach, Braunschweig; G. Philipp, Jena; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänsersdorf; H. Prange, Netphen; J. Rahm, Bingen; A. P. Rauch, Rosdorf; H. Reich, München; A. Reinders, Ravensburg; A. Richter, Leonberg-Höfingen; H.-W. Richter, Dortmund; W. Rockenbach, Biebern; K. Rohe, Glonn; A. Sauerwald, Bottrop; 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. Schröder, Grevembroich; E. Schroeder, Norderstedt; P. J. Schüngel, CH-Regensdorf ZH; S. Schuler, Püttlingen; R. Schuster, Altenkunstadt; W. Schwab, Heidelberg; M. Senkel, Kirchseeon; U. Seydel, Niedergörsdorf; R. Spurny, A-Wien; W. Stammberger, A-Ostermiething; E. Streeruwitz, A-Wien; A. Thiele, Aachen; P. Vogt, Sörrup; G. Wahl, Erolzheim; A. Wankerl, Maisach; H.-G. Wefels, Duisburg; H. Weiland, Bonn; Chr. Weis, Scheidegg; K. Weisensee, Glauburg; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; N. Würfl, Sulzbach; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg; Chr. Zorn, Korntal-Münchingen.

Insgesamt 128 Einsendungen

Er war's im April:

Es war Kiyotsugu Hirayama (geboren am 13. Oktober 1874 in Sendai, Japan, gestorben am 8. April 1943 in Tokio). Hirayamas Vater war Schiffsingenieur. Er selbst besuchte die Schule in Sendai und lernte klassische Sprachen: als Schriftsprache Chinesisch sowie moderne westliche Fremdsprachen. Danach ging er zum Astronomiestudium an die Universität Tokio. Dort hörte er bei Terao, dem ersten Astronomieprofessor Japans, dessen Nachfolger an der Universität Tokio er 1920 wurde. Nach dem russisch-japanischen Krieg von 1904/05 wurde Hirayama, der sich bis dahin vor allem mit geodätischen Arbeiten beschäftigt hatte, nach Sachalin geschickt, um dort den Grenzverlauf entlang des 50. Breitengrads festzulegen.

Im Jahr 1916 ging er in die USA und lernte in Yale den Mondexperten Ernest William Brown kennen. Angeblich riet Brown dem Japaner zur Asteroidenforschung. Zwei Jahre später, nach seiner Rückkehr, veröffentlichte Kiyotsugu Hirayama erstmals seine Annahme, dass sich Asteroiden auf Grund von Bewegungsähnlichkeiten in Familien einteilen

»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 37. Runde

Mit dem Juni-Heft 2017 begann die aktuelle Runde »Zum Nachdenken«. Sie endet mit dieser Ausgabe. 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 37. Runde

Die Firma Hofheim Instruments aus Diez lobt für diese Runde wieder ihren 8-Zoll-Leichtbau-Reisedobson im Wert von 1130 Euro als Preis aus. Zusammengepackt ist es ein nur acht 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 für das bequeme Aufsuchen von Objekten am Nachthimmel zusätzlich ein Set drahtlose, digitale Teilkreise mit WLAN-Adapter im Wert von 790 Euro. www.hofheiminstruments.com



2. Preis

Explore Scientific GmbH aus Rhede, Westfalen, stiftet ein mit einer hochkorrigierten Optik und Carbondobson ausgestattetes Maksutov-Newton-Teleskop (152 mm, 740 mm, $f/4,8$) im Wert von 999 Euro. In den USA ist es als David H. Levy Comet-Hunter bekannt. Es hat einen dimmbar beleuchteten 8×50 -Sucher und eine Carbon-Tauschutzkappe. www.explorescientific.de

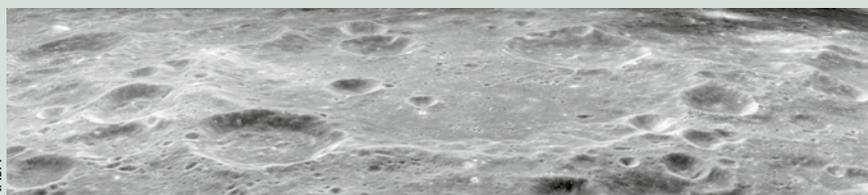
Kiyotsugu Hirayama

lassen. Alle Asteroiden einer solchen Familie, so seine Annahme, seien aus demselben Planetoiden hervorgegangen. Zusätzlich zu den anfänglichen drei Familien (nach dem jeweils größten Körper benannt in Eos-, Themis- und Koronisfamilie) identifizierte Hirayama später weitere Asteroidenfamilien.

Ein Ausgangspunkt für Hirayamas Annahme war die Beschäftigung mit den so genannten Kirkwood-Lücken, die der Astronom Daniel Kirkwood 1866 im Asteroidengürtel entdeckt hatte. Es sind Einbrüche in der Häufigkeitsverteilung von Asteroiden, die durch Resonanzen auf Grund der Jupitergravitation entstehen.

Den Mondkrater Hirayama nahm die Mannschaft der Mission Apollo 17 im Jahr 1972 von der Mondumlaufbahn aus auf.

Nicht zu verwechseln ist Kiyotsugu Hirayama mit seinem Kommilitonen und Kollegen Shin Hirayama, mit dem gemeinsam er in Tokio Astronomie studiert hatte und später als Professor auch lehrte. Shin Hirayama ist als Entdecker zweier Asteroiden, deren Umlaufbahn er jedoch nicht berechnen konnte, heute weitgehend vergessen. Sein Namensvetter Kiyotsugu Hirayama ging mit den Asteroidenfamilien in die Astronomiegeschichte ein und stellte fest: »Die Existenz von Asteroidenfamilien wird nicht länger in Frage gestellt werden. Sie ist zu offensichtlich, als dass sie Bestätigung durch Wahrscheinlichkeitsberechnungen oder durch die Entdeckung neuer Asteroiden bedürfte. Aber es ist wahrscheinlich, dass eine gewisse Anzahl solcher jetzt angenommener Familien durch zukünftige Entdeckungen noch aufgetan werden wird.« TINA HEIDBORN



NASA

Kreuzworträtsel

Lösung aus SuW 3/2018: Opernglas

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

Gewinner aus Heft 3/2018

Gewinnspiel: DVD »Human Journey – Wie der Mensch die Welt eroberte«: Katrin Stauch, 01640 Coswig. 202 richtige, 3 falsche Einsendungen. Lösung: 1c, 2c, 3b.

Wer war's?: DVD »Sternstunden – Landschaften im Rhythmus des Kosmos«: Achim Woerner, 49744 Geeste-Dalum. 188 richtige, 6 falsche Einsendungen.

Kreuzworträtsel: Das Tischplanetarium von AstroMedia: Joachim Klugmann, 32339 Espelkamp. 150 richtige, 2 falsche Einsendungen. Herzlichen Glückwunsch!