



Zum Nachdenken

Lösung zu »Erste Sterne am Ende des dunklen Zeitalters« aus SuW 8/2018

Aufgabe 1: a) Zur Berechnung der Frequenz ν_{21} der 21-cm-Photonen dient die Beziehung $\Delta E = h \nu$. Weil das plancksche Wirkungsquantum $h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$ mit fünf Dezimalen angegeben war, haben alle Ergebnisse, in deren Berechnung dieser Wert eingeht, maximal fünf signifikante Stellen. Mit $\Delta E = 5,87433 \text{ } \mu\text{eV}$ folgt daher:

$$\nu_{21} = \Delta E/h = 1,4204 \text{ GHz.}$$

Dabei wurde $1 \text{ eV} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ verwendet. **b)** Wellenlänge und Frequenz der elektromagnetischen Strahlung stehen zueinander in reziprokem Verhältnis, wobei die Proportionalitätskonstante die Lichtgeschwindigkeit ist: $\lambda \nu = c$. Mit $c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ folgt die auf rund fünf Stellen genaue Wellenlänge λ_{21} der 21-cm-Strahlung zu:

$$\lambda_{21} = \Delta E/h = 0,21106 \text{ m} = 21,106 \text{ cm.}$$

Aufgabe 2: a) Das beobachtete Absorptionsmuster zeigt sich bei der Frequenz $\nu_{78} = 78 \text{ MHz}$. Im jungen Universum ausgesendet als 21-cm-Strahlung mit der Wellenlänge λ_{21} , entspricht dies der Wellenlänge $\lambda_{78} = c/\nu_{78} = 3,8435 \text{ m}$. Gemäß der Definition der Rotverschiebung $z = \Delta\lambda/\lambda$ mit $\Delta\lambda = \lambda_{78} - \lambda_{21}$ folgt:

$$z_{78} = \lambda_{78}/\lambda_{21} - 1 = 17,21.$$

b) Die im Spektrum beobachtete Absorption hat die Form eines Trops. Dessen Breite ist $\Delta\nu_{78} = 19 \text{ MHz}$. Für die niedrigfrequenten Seite des Trops, bei der die Re-Ionisierung durch die Sterne einsetzt, ergibt sich die Frequenz $\nu_{78-} = \nu_{78} - \Delta\nu_{78}/2$. Die zugehörige Wellenlänge ist: $\lambda_{78-} = c/\nu_{78-}$. Auf der höherfrequenten Seite des Trops mit $\nu_{78+} = \nu_{78} + \Delta\nu_{78}/2$ gilt entsprechend: $\lambda_{78+} = c/\nu_{78+}$. Die zugehörigen Rotverschiebungen sind dann:

ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Hefts finden Sie auf Seite 22.



$$z_{\text{Start}} = z_{78-} = 19,74$$

und

$$z_{\text{Ende}} = z_{78+} = 15,23.$$

Die Ergebnisse gehen konform mit der erwarteten hohen Rotverschiebung des Absorptionsmusters um $z = 20$ und einem damaligen Alter des Universums von rund 200 Millionen Jahren.

Aufgabe 3: Der Tabelle in SuW 8/2018, S. 24, lassen sich für z_{Start} , z_{78} und z_{Ende} näherungsweise die Weltalter $T_{\text{Start}} = 179 \text{ Ma}$, $T_{78} = 226 \text{ Ma}$ und $T_{\text{Ende}} = 269 \text{ Ma}$ entnehmen. Interpolation oder Einsetzen der Ergebnisse auf der Webseite www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html mit den Werten $H_0 = 67,8 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, $\Omega_M = 0,307$, $\Omega_{\text{vac}} = 0,692$ und flachem Universum ergibt: $T_{\text{Start}} = 182 \text{ Ma}$, $T_{78} = 222 \text{ Ma}$ und $T_{\text{Ende}} = 264 \text{ Ma}$. AXEL M. QUETZ

Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Anette Anastasakis, Sandhausen; Elisabeth Arnold, Essenbach; Andrea Blomenhofer, Küps-Johannisthal; Ilse Blümel, Obertraubling; Nadja Lampichler, A-Wien; Brigitte Lindner, A-Wien; Eva Ponick, Lünen; Amelie Siebert, Göttingen; Katrin Stauch, Coswig; Margit Zink, Wendlingen; W. Balzer, Hattingen; G. Bauer, Farchant; M. Bauer, Wuppertal; O. Bechmann, Velpke; I. Bischoff, Montenegro, Karlsruhe; W. Blendin, Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, Augsburg; A. Braig, Lappersdorf; A. Brandenberger, CH-Rorschacherberg; G. Breitkopf, Berlin; R. Burgmeier, Regensburg; S. Christlmeier, Aschau am Inn; K. Clausecker, Künzelsau; R.-R. Conrad, Hannover; T. Cremer, Frankfurt; H.-P. Distler, Henstedt-Ulzburg; J. Döblitz, Stuttgart; R. Egger, CH-Adetswil; M. Fischer, Emskirchen; N. Forbrig, Lichtenstein; G. Forster, Heidelberg; E. Franz, Kleinwallstadt; M. Geisel, Lörrach; H. Gers, Meschede; J. Glattkowski, Dielheim; H. Göbel, Lörrach; J. Götz, Gummersbach; M. Grasshoff, Schongau; J. Th. Grundmann, Bremen; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; F. Hänel, Freiberg; J. Haller, Leverkusen; F. Hardt, Ehningen; W. Hauck, Hagen; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; H. Hauser, Ulm; F. Heimerl, Gilching; Chr. Herdegen, Regensburg; H.-D. Hettstedt, Isernhagen; A. Heuser, Euskirchen; W. Heydrich, Emmendingen; J. Hingsamer, Altdorf; L. Hitzky, L-Walferdange; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; E. Hoffmeister, Bad Honnef; Chr. Hollenbeck, Mönchengladbach; H. Holz, Neuried; C. Isenber, Regensburg; T. M. Jung, Eurasburg; F. Kaul, Dittelbrunn; J. E. Keller, Ketsch; P. Kirsch, A-Linz; L. Kirschhock, Pommelsbrunn; M. Klein, Altdorf; N. Klingler, CH-Oerlingen; H. Knopf, Baden-Baden; M. Kobusch, Wendeburg; A. Koch, Berg; K.-M. Köppl, Krefeld; H. Krambeer, Wismar; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz; N. Kunte, Wildeshausen; O. G. Kunze, Marburg; H.-P. Lange, Massenhäuser; W. Lehmann, Muldestausee; B. Leps, Berlin;

R. Lühmann, Allensbach; B. Matzas, Eching-Dietersheim; P. Matzik, Burscheid; Th. Meisner, Immenstaad; G. Minich, Reppenstedt; K. Mischke, Gärtringen; N. Moebis, Stuttgart; F. Morherr, Dresden; A. Moritz, Ehringshausen; F. Moser, Duisburg; K. Motl, Geretsried; Z. M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; M. Noga, Walldorf; E. Nowotny, Konstanz; Chr. Overhaus, Borken; G. Panach, Braunschweig; Chr. Petersen, Drochtersen; F. Pietsch, Schwülper; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänsersdorf; H. Prange, Netphen; H. Preisinger, Weimichl/Edenland; M. Radenhäuser, Wesel; J. Rahm, Bingen; A. P. Rauch, Rosdorf; H. Reich, München; A. Reinders, Ravensburg; H.-W. Richter, Dortmund; W. Rockenbach, Biebrich; K. Rohe, Glonn; D. Rühm, Mutterstadt; A. Sauerwald, Bottrop; F. Schauer, Kirchzarten; F. Scherie, Ennepetal; J. Schermer, Berlin; R. H. Schertler, A-Braunau am Inn; M. Schiffer, Überlingen; A. Schirmer, Munster; S. Schmid, Kiel; B. Schmalfeldt, Aumühle; P. Schmid, Pfintztal; R.-G. Schmidt, Recklinghausen; J. Schnichels, Euskirchen; G. Scholz, Essingen; H.-J. Schreyer, Kehlbach; J. Schröder, Grevenbroich; E. Schroeder, Norderstedt; P. J. Schüngel, CH-Regensdorf ZH; S. Schuler, Püttlingen; W. Schwab, Heidelberg; J. Segelbacher, Ravensburg; S. Seifert, Hannover; Th. Selmaier, Oberteuringen; M. Senkel, Kirchseeon; R. Spurny, A-Wien; W. Stammberger, A-Ostermiething; R. E. Stranzenbach, Witten; E. Streeruwitz, A-Wien; M. Teufel, Neuried; G. Traupe, Lillenthal; R. Troppmann, Bamberg; P. Vogt, Sörup; G. Wahl, Erolzheim; C. Wangen, L-Bertrange; A. Wankel, Maisach; M. Watzdorf, München; H.-G. Wefels, Duisburg; S. Weidner, Fellbach; H. Weiland, Bonn; Chr. Weis, Scheidegg; K. Weisensee, Glauburg; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; M. Wilhelm, Siegen; O. Wolter, Gifhorn; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg.

Insgesamt 156 Einsendungen

Er war's im September:

Es war Joseph-Nicolas Delisle (geboren am 4. April 1688 in Paris, gestorben am 11. September 1768 in Paris). Delisle entstammte einer kinderreichen aristokratischen Familie, noch als Student wurde er Mitglied der französischen Akademie der Wissenschaften und arbeitete danach an mehreren Observatorien in Paris. Mit Mitte Dreißig traf er auf einer Englandreise mit Edmond Halley zusammen. Zar Peter der Große berief Delisle in die eben erst eingerichtete russische Akademie der Wissenschaften in Sankt Petersburg: Von 1726 bis 1747 lebte Delisle in Russland, unternahm 1740 eine Sibirienreise und war auch in das von Peter I. angestoßene Pilotprojekt der Kartografierung Russlands involviert, bis seine Mitarbeit aufgekündigt wurde. Im Jahr 1745 erschien der »Atlas Rossicus«, herausgegeben von der russischen Akademie der Wissenschaften.

Zurück in Paris nahm Joseph-Nicolas Delisle seine Arbeit als Astronom der französischen Marine wieder auf und bildete Charles Messier aus. Delisle selbst hatte unter anderem bei Vater Jean-Dominique und Sohn Jacques Cassini stu-

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.

■ 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.

Mit dem Juni-Heft begann die neue Runde »Zum Nachdenken«. Sie endet mit der Ausgabe im Mai-Heft 2019. Löser mit mindestens neun richtigen Einsendungen nehmen an der Preisverlosung teil. Zu gewinnen sind wieder attraktive Hauptpreise (siehe rechts). Viel Spaß beim Nachdenken! AMO

Die Firma Hofheim Instruments mit Sitz in Diez an der Lahn hat erneut ihren **12-Zoll-Leichtbau-Reisedobson** im Wert von 2350 € als Preis ausgeteilt. Das aufgebaute Teleskop besitzt eine Masse von lediglich zwölf Kilogramm. Es ist stabil und solide aus Aluminium, Edelstahl und Birke-Multiplexholz gefertigt und lässt sich für die Reise ganz leicht zerlegen. Im Transportzustand füllt der leistungsstarke 12-Zoll-f/5-Newton in Gitterbauweise auf seiner klassischen Dobson-Montierung zwei handliche Trageboxen. Der Gewinner erhält aus dem umfangreichen Zubehörprogramm zusätzlich einen Leuchtpunktsucher, einen 1,25-Zoll-Adapter sowie einen Laser-Kollimator. www.hofheiminstruments.com



Explore Scientific GmbH aus Rhede, Westfalen, stiftet die 92°-Okularserie mit 12 und 17 mm Brennweite im Wert von 878 €. Die 92°-Okulare bieten eine ausgezeichnete Randschärfe auch



bei schnellen Optiken und ein riesiges Gesichtsfeld. Mit dem großzügigen Augenabstand von 20 und 22 mm lässt sich das gesamte Gesichtsfeld auch mit Brille problemlos überblicken. Abbildungsqualität, Kontrast, Beobachtungskomfort und Langlebigkeit suchen ihresgleichen und garantieren ermüdungsfreies Beobachten. Die Okulare sind wasserdicht versiegelt. Das garantiert viele Jahre ungetrübte Beobachtungsfreude. www.bresser.de

diert. Er beobachtete Zeit seines Lebens die Sonne und deren Flecken, vor allem aber mehrere Transite, da er die Durchgänge der Planeten Merkur und Venus zur Bestimmung des Abstands Sonne – Erde nutzen wollte. Über das Thema hatte er schon auf seiner Englandreise mit Edmond Halley diskutiert. Den für 1761 berechneten Venusdurchgang wollte Delisle gemeinsam mit Kollegen in ganz Europa beobachten



Konrad Westermayr, aus A. C. Gaspari und F. J. Bertuch: Allgemeine geographische Ephemeriden, Band 11. Verlag des Landes-Industrie-Comptoirs, Weimar 1803

und hatte dazu schon koordinierende Vorarbeiten geleistet. Doch der Siebenjährige Krieg machte die Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg unmöglich. Rund zwei Jahre später, mit Mitte Siebzig, zog sich Delisle in eine Klosterabtei zurück, wo er im Spätsommer 1768 starb.

Obwohl Delisle, besonders in den Jahren in Russland, in diverse nationale Akademien der Wissenschaften aufgenommen worden war – neben der französischen und russischen war er beispielsweise auch in der preußischen und der schwedischen Akademie der Wissenschaften sowie in der Royal Society – scheint sein Ruhm schon zu Lebzeiten verblasst zu sein. Am stärksten in Erinnerung blieb zunächst noch die von ihm entwickelte Temperaturskala. Dagegen geriet in Vergessenheit, dass Joseph-Nicolas Delisle schon Anfang des 18. Jahrhunderts ein Anhänger der Wellentheorie des Lichts war. Mit der Wellenstruktur lässt sich das Lichtbeugungsphänomen erklären, das Delisle schon 1715 beschrieb, das aber erst hundert Jahre später systematisch untersucht wurde und heute als »Poisson-Fleck« bekannt ist.

TINA HEIDBORN

Lösung aus SuW 8/2018: Asterismus

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

Gewinnspiel: Buch »Verbotenes Unversum«: Norbert Schmickl, 2403 Regelsbrunn, Österreich. 139 richtige, 1 falsche Einsendung. Lösung: 1a, 2b, 3c.

Wer war's?: Buch »Alex im Wunderland der Zahlen«: Gabriele Richter, 1220 Wien, Österreich. 105 richtige, 6 falsche Einsendungen.

Kreuzwörterrätsel: *Rotlicht-Stirnlampe* von Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH: Friedhelm Mersch, 46240 Bottrop. 144 richtige Einsendungen.

Herzlichen Glückwunsch!