



Zum Nachdenken

Lösung zu »Satellitenflut an jedem Himmel«
aus SuW 8/2019

Aufgabe 1: SpaceX will mit $N_{\text{ges}} = 11\,927$ Satelliten in drei Schalen jeden beliebigen Ort mit Internet versorgen. Beobachtern auf der Erde ist davon eine Kugelkalotte zugänglich. Mit deren Höhe h und dem Kugelradius r hat sie eine Fläche von $F_K = 2\pi r h$. Die Fläche der Kugel ist $F = 4\pi r^2$. Die Anteile der Sphäre ergeben sich dann mit dem Erdradius $R = 6378$ km mit $f_i = F_{K_i}/F = h_i/(2r) = h_i/(2(R + h_i))$ zu:

$$f_1 = 0,0253, f_2 = 0,0397, f_3 = 0,0792.$$

Aufgabe 2: Das Produkt aus Sphärenanteil und Schalenbesetzung N_N ergibt die gesuchte Anzahl N_i von Satelliten: $N_i = f_i N_N$. Mit $N_{340} = 7518$, $N_{550} = 1584$ und $N_{1200} = 2825$ Satelliten für N_N folgt:

$$N_1 = 190,2, N_2 = 62,9, N_3 = 223,7.$$

Aufgabe 3: a) Zur Vermeidung von Kollisionen und schlechter Abdeckung auf der Erde muss SpaceX darauf achten, dass die Sa-

telliten in gleichmäßigen Abständen zueinander fliegen. Die in Aufgabe 2 berechneten Werte werden daher einigermaßen stabil bleiben. Die Gesamtzahl für einen Beobachter sichtbaren Satelliten ist dann:

$$N_g = N_1 + N_2 + N_3 = 476,8.$$

b) Die mittlere Raumwinkeldichte Ω_g ist abhängig von der Zenitdistanz und der Schalenhöhe. Nehmen wir einfach eine Gleichverteilung an, so ergibt sich $\Omega_g = N_g/(2\pi)$, denn ein Beobachter hat Blick auf die halbe Sphäre ($=2\pi$). Er schaut daher wegen $2\pi \triangleq 360^\circ$ auf $2\pi = (2\pi)^2/(2\pi) = (360^\circ)^2/(2\pi) = 20626,5 \square^\circ$ ($\square^\circ = \text{Quadratgrad}$). Die Raumwinkeldichte ist daher: $\Omega_g = 0,0231$ Satelliten/ \square° . In jedem Himmelsfeld von rund 6,6 Grad Kantlänge bewegt sich ein Satellit.

Aufgabe 4: a) Bleibt eine Region ab der geografischen Breite $\varphi > 80^\circ$ ausgespart,

ZUM NACHDENKEN

Die Aufgabe dieses Hefts finden Sie auf Seite 19.



so erhöht sich die Zahl der Satelliten über dem Horizont auf $N_{g\varphi} = N_g/(1 - q_\varphi) = 2N_g/(1 + \sin \varphi)$. Dabei ist $q_\varphi = F_\varphi/F$, $F_\varphi = 2\pi r h_\varphi$ und $h_\varphi = r(1 - \sin \varphi)$. Für $\varphi = 80^\circ$ folgt: $N_{g80} = 480,5$. **b)** Die Lücke zu schließen, erfordert zusätzliche $N_\varphi = N_{\text{ges}} q_\varphi/(1 - q_\varphi) = N_{\text{ges}}(1 - \sin \varphi)/(1 + \sin \varphi)$ Satelliten. Für $\varphi = 80^\circ$ folgt: $N_{80} = 91,3$. Es werden demnach 92 zusätzliche Satelliten benötigt. **c)** Um diese Anzahl in den Orbit zu bringen, wären $K_{80} = [N_{80}] K_S + [N_{80}/60] K_{F9} = 127,6$ Mio. \$ erforderlich, was einem knappen Prozent der Gesamtkosten entspräche. **d)** Bei $\varphi = 70^\circ$ ergeben sich: $N_{g70} = 491,6$, $N_{70} = 370,8$ und $K_{70} = 461,3$ Mio. \$ (3,6 %).

Aufgabe 5: Die Winkelgeschwindigkeiten $\omega_i = (GM/r_i^3)^{1/2}$ im Zenit in den drei Schalen sind: $\omega_1 = 3,94^\circ/\text{min}$, $\omega_2 = 3,76^\circ/\text{min}$, $\omega_3 = 3,29^\circ/\text{min}$ – rund acht Monddurchmesser pro Minute. AXEL M. QUETZ

Zum Nachdenken – Richtige Lösungen sandten ein:

Anette Anastasakis, Sandhausen; Elisabeth Arnold, Essenbach; Ilse Blümel, Obertraubling; Brigitte Lindner, A-Wien; Katrin Stauch, Coswig; Cornelia Wiberg, Werl; Margit Zink, Wendlingen; W. Balzer, Hattlingen; H. Baudisch, A-Wien; G. Bauer, Farchant; M. Bauer, Wuppertal; K. Beier, Reichling; I. Bischoff Montenegro, Karlsruhe; W. Blendin, Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, Augsburg; P. Borchardt, Augsburg; Elias u. Jens Peter Bork, Potsdam; A. Brandenberger, CH-Rorschacherberg; G. Breitkopf, Berlin; R. Burgmeier, Regensburg; G. Cancio, CH-Prangins; R.-R. Conrad, Hannover; T. Cremer, Frankfurt; A. Dannhauer, Ilsenburg; H.-P. Distler, Henstedt-Ulzburg; K. E. Engel, Erlangen; M. Fischer, Emskirchen; G. Forster, Heidelberg; E. Franz, Kleinwallstadt; M. Geisel, Lörrach; H. Göbel, Lörrach; F. Götzke, Gummersbach; M. Gottschalk, Konstanz; M. Grasshoff, Schongau; K. Grießer, Gengenbach; B. Grosse, Brandenburg an der Havel; J.Th. Grundmann, Bremen; A. Güth, Zell u. A.; R. Guse, Peine; R. Hagelweide, Worpsswede; J. Hampp, Erlangen; W. Hauck, Hagen; D. Hauffe, Frankfurt am Main; J. Haun, Bochum; F. Heimerl, Gilching; A. Heuser, Euskirchen; J. Hingsammer, Altdorf; L. Hitzky, L-Walferdange; J. Hochheim, Lutherstadt Eisleben; E. Hoffmeister, Bad Honnef; A. Huss, Stuttgart; C. Isenberg, Regensburg; T. M. Jung, Eurasburg; M. Kaschke, Oberkochen; F. Kaul, Dittelbrunn; P. Kirsch, A-Linz; L. Kirschhock, Pommelsbrunn; M. Klein, Altdorf; N. Klingler, CH-Oerlingen; F.-G. Knell, Hanau; H. Knopf, Baden-Baden; M. Kobusch, Wendeburg; K.-M. Köppl, Krefeld; H. Krambeer, Wismar; B. Kuhn, Sulzbach/Main; G. Kunert, Chemnitz; N. Kunte, Wildeshausen; O. G. Kunze, Marburg; H.-P. Lange, Mas-

senhausen; J. Lange, Hamm; B. Leps, Berlin; R. Lühmann, Allensbach; B. Matzas, Echting-Dietersheim; P. Matzik, Burscheid; S. Maurer, Backnang-Maubach; Th. Meisner, Immenstaad; R. Melcher, Bad Schönborn; G. Minich, Reppenstedt; F. Morherr, Dresden; A. Moritz, Ehringshausen; K. Motl, Geretsried; A. Münch, Alteglofsheim; Z. M. Nagel, Mainz; J. Nendwich, A-Wien; Chr. Netzel, Aachen; Chr. Overhaus, Borken; G. Panach, Braunschweig; H. Pavlicek, Horb; Chr. Petersen, Drochtersen; F. Pietsch, Schwülper; G. Portisch, Bretten; R. Prager, A-Gänsersdorf; H. Preisinger, Wehlmichl/Edenland; B. Quednau, Langenberg; 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; R. H. Schertler, A-Braunau am Inn; M. Schiffer, Überlingen; A. Schirmer, Munster; Th. Schler, CH-Zürich; S. Schlund, Bad Homburg; B. Schmalfeldt, Aumühle; G. Scholz, Essingen; E. Schroeder, Nordstedt; P.J. Schüngel, CH-Regensdorf ZH; S. Schuler, Püttlingen; R. Schuster, Altenkunstadt; W. Schwab, Heidelberg; U. Seydel, Niedergörsdorf; D. Siefert, Hameln; M. Sipahi, Hameln; O. Slawitzki, Nürnberg; R. E. Stranzbach, Witten; E. Streuerwitz, A-Wien; K. Teichmann, Timmendorfer Strand; A. Thiele, Aachen; P. Vogt, Sörup; G. Wahl, Erolzheim; S. Weidner, Fellbach; B. Wichert, Neu-Wulmstorf; L. Wiest, Walldorf; N. Würfl, Sulzbach; A. Zeh-Marschke, Eggenstein-Leopoldshafen; M. Ziegler, A-Wien; C. Zille, Georgenberg.

Insgesamt 135 Einsendungen

Sie war's im September:

Es war Chien-Shiung Wu (geboren am 31. Mai 1912 in Shanghai, gestorben am 16. Februar 1997 in New York). Ihr Vater war Rektor einer Mädchenschule, die Wu als Kind besuchte. Sie studierte zunächst in Nanking auf Lehramt, Mathematik, dann Physik und ging 1936 in die Vereinigten Staaten, um an der Elite-Universität Berkeley ihr Studium fortzusetzen und zu promovieren, und zwar über Bremsstrahlung. In Berkeley lernte sie den ebenfalls aus China stammenden Kollegen Luke C.-L. Yuan kennen. Die beiden heirateten und bekamen einen Sohn.

In ihrem berühmtesten Experiment gelang Wu der Nachweis der Paritätsverletzung bei der schwachen Wechselwirkung. Mitte der 1950er Jahre hatten die beiden Physiker Tsung-Dao Lee und Chen Ning Yang in ihrem Paper »Fragliche Paritätserhaltung bei schwachen Wechselwirkungen« die Frage gestellt, inwiefern der Betazerfall wirklich symmetrisch ablaufe.

Mit Fragen der Kernspaltung hatte sich Wu bereits beschäftigt, unter anderem arbeitete sie am »Manhattan Project« in Los Alamos mit. Die von ihr

»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.

Beginn der 39. Runde

Mit dem Juni-Heft begann die neue Runde »Zum Nachdenken«. Sie endet mit der Ausgabe im Mai-Heft 2020. 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 39. Runde

Die Firma Hofheim Instruments, Hofheim, hat für die 39. Runde ihren **8-Zoll-Leichtbau-Reisedobson** im Wert von 1130 € 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 €: einen Leuchtpunktsucher, ein Friktionssystem, einen 1,25-Zoll-Adapter und einen Laser-Kollimator. www.hofheiminstruments.com



2. Preis

Explore Scientific stiftet ihre Montierung EXOS2-Goto PMC8 im Wert von 799 €. Die Montierung besitzt eine völlig neu entwickelte GoTo-Steuerung. Sie besteht aus einer robusten WiFi-Controller-Einheit, welche alle notwendigen Schnittstellen bereitstellt. Die Steuerung unterstützt den Mikroschritt-Betrieb zur präzisen Nachführung. Zur Steuerung der Montierung per WiFi lassen sich Tablets, Notebooks und Desktop-PCs mit mindestens sieben Zoll großem Display verwenden. www.bresser.de

Chien-Shiung Wu

angestrebte Unkarriere klappte nicht auf Anhieb, da zu dieser Zeit Frauen und auch Nichtamerikaner relativ schlechte Anstellungschancen besaßen. Tatsächlich aber wurde die Physikerin erst 1958 reguläre Professorin an der Columbia University, wo sie bis zu ihrer Emeritierung 1980 blieb.

Chien-Shiung Wu griff die Anregung des Papers von Lee und Yang umgehend auf und mietete ein Tieftemperaturlabor in Washington für ihre Zwecke an.

Sie hatte sich zu diesem Zeitpunkt als experimentelle Physikerin bereits einen Namen gemacht, denn ihre Zerfallsversuche krankten nicht unter Fehlerquellen im Versuchsaufbau. Deshalb konnte sie die Energie der emittierten Elektronen genauer als andere Kollegen messen.

Um experimentell zu überprüfen, wie es sich beim Betazerfall mit der Paritätserhaltung verhält, entwarf Wu einen selbst für ihre Verhältnisse extrem aufwändigen Versuchsaufbau: Sie kühlte radioaktives Kobalt-60 auf den Bruchteil eines Kelvins herunter und brachte alles in ein extrem starkes Magnetfeld ein. So konnte sie den Spin des Kobalts und des Nickels, das durch den Zerfall entsteht, kontrollieren. Es zeigte sich, dass in einem gespiegelten Aufbau das Ergebnis des Experiments nicht ebenfalls gespiegelt erscheint. Den Nobelpreis erhielt die Experimentalphysikerin nicht, er ging an ihre beiden Kollegen Lee und Yang. Chien-Shiung Wu starb im Februar 1997, mit 84 Jahren an einem Schlaganfall. Ihr 1966 erschienenen Buch »Der Betazerfall« ist ein Standardwerk der Kernphysik.



Chien-Shiung Wu im Jahr 1985

ANDREAS LOOS, TINA HEIDBORN

Kreuzworträtsel

Lösung aus SuW 8/2019: Fliehkraft

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

Gewinner aus Heft 8/2019

Gewinnspiel: Buch »Was wiegt das Universum?«: Johanna Alisa Berger, Meiningen. 239 richtige Einsendungen. Lösung: 1b, 2c, 3a.

Wer war's?: Buch »Dunkle Materie und Dinosaurier«: Kira Friede, Speicher in der Eifel. 178 richtige, 11 falsche Einsendungen.

Kreuzworträtsel: Buch »Urknall, Sterne, Schwarze Löcher«: Dagmar Dittrich, Süßen. 238 richtige Einsendung.

Herzlichen Glückwunsch!