

Energiedichte der Kosmischen Strahlung

Zwei Aufsätze in diesem Heft nehmen Bezug auf jenen hochenergetischen Teilchenstrom, der der Erde von noch unbekanntem Quellen zuströmt. Mit dem neuen Schauerobservatorium »Pierre Auger« und seinen wenigstens teilweise schon in Betrieb befindlichen Schwestern und Brüdern MAGIC, VERITAS, HESS und CANGAROO III (s. S. 25) sollen jene Quellen endlich dingfest gemacht werden.

Im Aufsatz »Kosmische Strahlung«, S. 27, wird festgestellt, dass die Kosmische Strahlung für die Entwicklung des Milchstraßensystems von großer Bedeutung sei, weil ihre Energiedichte von der selben Größenordnung ist, wie die des Photonenfeldes der Sterne und des Magnetfeldes unserer Galaxis. Dies soll im Folgenden überprüft werden.

Aufgabe 1: Von den Pulsaren ist bekannt, dass sie Teilchen in ihrem starken Magnetfeld auf sehr hohe Energien beschleunigen können. Dabei generieren sie einen Energieausstoß von etwa $\dot{E}_p = 1.4 \cdot 10^{42}$ eV/s. Möglicherweise sind Pulsare und zugehörige Supernovaüberreste die Hauptlieferanten der Kosmischen Strahlung. Die mittlere Lebensdauer der Pulsare liegt etwa bei $\tau_L = 10^{10}$ a und sie entstehen seit Bildung des Milchstraßensystems vor et-

wa $\tau_M = 10^{10}$ a mit einer Rate von etwa $n_p = 1$ pro 100 Jahre. Die mittlere Dauer ihres Beitrags zum Gehalt hochenergetischer Teilchen im Milchstraßensystem liegt bei etwa $\tau_B = \frac{1}{2} \tau_L$. Man berechne die Energiedichte ϵ_K der Kosmischen Strahlung, wenn die Milchstraße den Radius $R_M = 15$ kpc und die mittlere Dicke $D_M = 1$ kpc besitzt.

Zusatzaufgabe: Die Energiedichte der Kosmischen Strahlung folgt aus den Beobachtungsdaten. Abb. 4, S. 27, enthält alle nötigen Werte. Dort ist – präzise formuliert – die differentielle Flussdichte $F' = dN(E)/dE$ gegen die Teilchenenergie aufgetragen. Der obere Abschnitt zwischen Maximum und Knie weist die Steigung $\gamma_1 = -2.7$ auf, der untere zwischen Knie und Fuß $\gamma_2 = -3.1$. Diese Abschnitte sind begrenzt durch den Schulterpunkt ($E_S = 7 \cdot 10^9$ eV, $F'_S = 100$ m $^{-2}$ sr $^{-1}$ s $^{-1}$ GeV $^{-1}$), das Knie ($5 \cdot 10^{15}$ eV, $F'_K = 3.4 \cdot 10^{-14}$ m $^{-2}$ sr $^{-1}$ s $^{-1}$ GeV $^{-1}$) und den Fuß ($6 \cdot 10^{18}$ eV, $F'_F = 10^{-23}$ m $^{-2}$ sr $^{-1}$ s $^{-1}$ GeV $^{-1}$) und lassen sich so aufschreiben: $F'/F'_p = (E/E_p)^{\gamma_i}$. Die erste Integration führt zur Teilchendichte, die zweite auf die Gesamtenergie. Den Übergang von einem Steradian zum Gesamthimmel berücksichtigt der Faktor 4π . Schließlich folgt die Energiedichte ϵ_K aus der Division durch die Lichtgeschwindigkeit.

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. März** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Max-Planck-Institut für Astronomie, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: (+49) 0 6221-528-246.

Aufgabe 2: Die mittlere Helligkeit in der Galaxis am Ort der Sonne entspricht in Einheiten von 10-mag-Sternen etwa $n_{10} = 250/\square^\circ$. Der gesamte Himmel besitzt $N_H = 4\pi (360^\circ/2\pi)^2$ Quadratgrad und weist dann die Helligkeit von $N_{10} = n_{10} N_H$ 10-mag-Sternen auf. Von einem 10-mag-Stern beziehen wir die spektrale Flussdichte $f_{10} = 0.1$ Photon $\text{\AA}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Für die spektrale Bandbreite $\Delta\lambda = 2500 \text{\AA}$ ergibt sich dann ein Fluss von $F_{10} = f_{10} \Delta\lambda$. Hat nun ein Photon die Energie $E_{ph} = h c/\lambda_{ph}$ und die Wellenlänge des Emissionsmaximums der Sonne ($\lambda_{ph} = 550$ nm), so ergibt sich ein Energiefluss von $F_E = F_{10} E_{ph}$ von jedem einzelnen 10-mag-Stern. Man berechne die Energiedichte $\epsilon_{ph} = N_{10} F_E/c$ des gesamten Photonenfeldes in eV/cm 3 . Das Plancksche Wirkungsquantum ist $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ J s, die Lichtgeschwindigkeit ist $c = 3 \cdot 10^8$ m/s und das Elektron trägt die Ladung $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ C.

Aufgabe 3: Das Magnetfeld der Milchstraße besitzt etwa die Feldstärke $B = 0.5$ nT (1 Tesla = 1 V s m $^{-2}$). Man berechne mit Hilfe von $\epsilon_M = \frac{1}{2} \mu_0^{-1} B^2$ die Energiedichte des galaktischen Magnetfeldes. Die Permeabilität des Vakuums ist: $\mu_0 = 1.256 \cdot 10^{-6}$ V s A $^{-1}$ m $^{-1}$.

Aufgabe 4: Das Feld, welches durch die Kosmische Hintergrundstrahlung definiert ist, produziert die Energiedichte ϵ_{3K} . Man erhält sie aus ihrer mittlerweile sehr genau bekannten Temperatur $T_{3K} = 2.728$ K mit

Lösung der Aufgabe aus dem Januar-Heft 2006

Aufgabe 1: Durch Ausmessen ergibt sich ein mittlerer scheinbarer Radius von Barnard 68 zu etwa $\beta_{B68} = 2'$ (siehe Abb. 1). Daraus folgt der wahre Radius:

$$\begin{aligned} R_{B68} &= D_{B68} \tan \beta_{B68} \\ &= 0.05 \text{ pc} \\ &= 10200 \text{ AE.} \end{aligned}$$



▲ Abb. 1: Die Bok-Globule Barnard 68 besitzt einen Durchmesser von etwa 4 Bogenminuten.

Aufgabe 2: Mit der stillschweigenden Annahme konstanter Dichte in Barnard 68 folgt:

$$\begin{aligned} \rho_C &= \frac{N_C m_{H_2}}{2 R_{B68}} \\ &= 3.3 \cdot 10^{-19} \text{ g/cm}^3. \end{aligned}$$

Der Faktor 2 rührt daher, dass die Säulendichte für die gesamte Ausdehnung der Bok-Globule angegeben ist.

Aufgabe 3: Aus den angegebenen Werten folgt die isotherme Schallgeschwindigkeit bei der Temperatur 10 K zu $a = 203$ m/s. Schließlich lässt sich – zwecks Vergleichbarkeit der eingesandten Resultate – mit $R_{B68} = 10000$ AE der Radiusparameter ξ_{max} bestimmen zu:

$$\xi_{\text{max}} = 3.94.$$

Damit liegt er zwar unterhalb der als kritisch angegebenen Schwelle, jedoch ist er von gleicher Größenordnung. Angesichts der doch recht primitiven Analyse mag das

Ergebnis deshalb darauf hindeuten, dass die Bok-Globule Barnard 68 an der Grenze zum Kollaps steht. AMQ

Richtige Lösungen sandten ein:

Eva Ponick, D-38678 Kustalsthal-Zellerfeld; Ulrike Sacher, D-40629 Düsseldorf; Katrin Stauch, D-01640 Coswig; Sieglinde Übermayer, -2253 Weikendorf; Christine Zerbe, D-86179 Augsburg; M. Baldus, D-59519 Möhnesee; G. Beyvers, D-85058 Ergoldsbach; W. Blendin, D-65597 Hünfelden-Kirberg; A. Borchardt, D-86356 Neusäß / OT Steppach; G. Breilkopf, D-13156 Berlin; H. Brockmann, D-78315 Radolfzell; U. Buchner-Eysell, D-86833 Ettringen; W. Christ, D-65824 Schwalbach; K. Clausecker, D-74219 Möckmühl; R.-R. Conrad, D-31275 Lehrte; A. Dannhauer, D-38871 Ilsenburg; J. Döblitz, D-70619 Stuttgart; A. M. Duffer, D-83334 Inzell; H. Duran, CH-5300 Turgi; E. Duschlbauer, A-4240 Freistadt; E. Edler v. Malyevacz, D-70825 Korntal-Münchingen; R. Fischer, D-50858 Köln; G. Forster, D-69120 Heidelberg; M. Geisel, D-79540 Lörrach; J. Glattkowski, D-76571 Gaggenau; H. Göbel, D-79540 Lörrach; J. Th. Grundmann, D-52068 Aachen; A. Güth, D-73078 Boll; R. Guse, D-31228 Peine; A. Haag, D-63110 Rodgau; J. Haller, D-51379 Leverkusen; J. Hampp, D-91056 Erlangen; D. Hauffe, D-60431 Frankfurt am Main; H. Hauser, D-89275 Elchingen; A. Heuser, D-53879 Euskirchen; B. Hußl, A-4542 Nußbach; Th. Inghoff, D-34355 Staufenberg; G. Junge, D-04600 Altenburg; H. Kamper, D-89520 Heidenheim; S. Kassam, D-60431 Frankfurt/M.; J. E. Keller, D-68775 Ketsch; L. Kirschhock, D-92237 Sulzbach-Rosenberg; Chr. Kleinschmidt, D-53229 Bonn; K.-M. Köppl, D-47805 Krefeld; H. Kuchler, A-8960 Öblarn; H.-P. Lange, D-85376 Massenhausen; S. Laudwein,

Hilfe der Gleichung: $\epsilon_{3K} = a T_{3K}^4$. Dabei ist $a = 4 \sigma / c = 7.56 \cdot 10^{-22} \text{ J cm}^{-3} \text{ K}^{-4}$ die Konstante der Strahlungsdichte und Schwester der Stefan-Boltzmann-Konstante σ .

Aufgabe 5: Trifft ein Teilchen der Kosmischen Strahlung auf die Erdatmosphäre, so entsteht ein Schauer verschiedener Sekundärteilchen. In der Lawine des Luftschauers kommt es auch dazu, dass etwa durch den Stoß eines Elektrons ein Proton in einen angeregten Zustand versetzt wird. Betrachtet man die Anregungszustände der Protonen bei vielen solchen Stößen nach ihrer Energie, so findet man dabei Zustände mit besonders hoher Häufigkeit. In diesen Fällen spricht man von Resonanzen. Das Proton besitzt die Masse $m_p = 938 \text{ MeV}/c^2$. Dort findet man die erste Resonanz. Die zweite und dritte werden bei den Energien $1232 \text{ MeV}/c^2$ im Falle der Delta-Resonanz $\Delta(1232)$ und bei $1520 \text{ MeV}/c^2$ im Falle der $D_{13}(1520)$ -Resonanz beobachtet. Im Gegensatz zu einem angeregten Atom werden die Nukleonenresonanzen als eigene Teilchen interpretiert. Um dies zu verstehen, betrachte man **a)** ein Quecksilberatom (120 Neutronen und 80 Protonen; $m_N \approx m_p$; die Bindungsenergie werde vernachlässigt), dessen angeregter Zustand $4.85 \text{ eV}/c^2$ über dem Grundzustand liegt und berechne den der Anregungsenergie adäquaten relativen prozentualen Massenzuwachs μ_{Hg} . **b)** Man bestimme die relativen prozentualen Massenzuwächse μ_Δ und $\mu_{D_{13}}$ zwischen Proton und $\Delta(1232)$ sowie Proton und $D_{13}(1520)$. AMQ

D-33615 Bielefeld; M. Leinweber, D-35435 Wettenberg; A. Leonhardt, D-90559 Burghthann; B. Leps, D-13507 Berlin; A. Lichtfuß, D-93161 Sinzing; R. Lüthmann, D-78224 Singen; W. Mahl, D-71254 Ditzingen; P. Matzlik, D-51399 Burscheid; N. Mayer, D-12205 Berlin; M. Mendl, D-85567 Grafing b. München; K. Mischke, D-71116 Gärtringen; F. Moser, D-47167 Duisburg; K. Motl, D-82538 Geretsried; S. Mrozek, D-25358 Horst; Chr. Netz, D-52080 Aachen; J. Nußbaum, D-80689 München; M. Otte, D-59558 Lippstadt; Chr. Overhaus, D-46325 Borken; J.-F. Pittet, D-88677 Markdorf; G. Portisch, D-75015 Bretten; R. Prager, A-2230 Gänserndorf; H. Prange, D-57250 Netphen; B. Quednau, D-33397 Rietberg; E. Rössler, D-13503 Berlin; K. Rohe, D-85625 Glonn; A. Schäfer, D-71711 Steinheim/Murr; F. Schauer, D-79199 Kirchzarten; N. Scherer, D-76137 Karlsruhe; J. Schermer, D-12687 Berlin; R. H. Schertler, A-5280 Braunau am Inn; M. Schiffer, D-88662 Überlingen; B. Schmalfeldt, D-21521 Aumühle; G. Scholz, D-73457 Essingen; P. J. Schüngel, CH-8105 Regensdorf ZH; M. Senkel, D-85614 Kirchseeon; R. Stahlbaum, D-38124 Braunschweig; K. Stampfer, D-86486 Bonstetten; A. Stefanescu, D-80807 München; P. Stoffer, CH-3507 Biglen; A. Thiele, D-52066 Aachen; A. Trutschel-Stefan, D-83714 Miesbach; G. Tyczkowski, D-47057 Duisburg; G. Wahl, D-88453 Erolzheim; H.-G. Wefels, D-47239 Duisburg; H. Wember, D-22525 Hamburg; R. Wetzel, D-49076 Osnabrück; B. Wichert, D-21629 Neu Wulmstorf; K. Wiedemer, D-57072 Siegen; G. Woysch, D-70435 Stuttgart; A. Zeh-Marschke, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen; M. Ziegler, A-2460 Bruckneudorf; Chr. Zorn, D-70825 Koral-Münchingen; W. Zumach, D-86163 Augsburg.

Insgesamt 99 Einsendungen, Fehlerquote: 0 %.

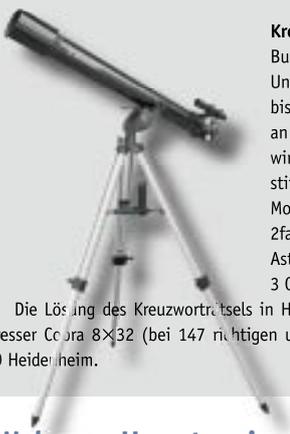
Kreuzworträtsel

VON FRED GOYKE

2. Wort im Spektralklassen-Merkatz			Stadt mit berühmter astron. Uhr	Sternbild von Muphrid (int. Abk.)		roter Stern im Skorpion		Kameratyp			...sphäre, Teil der Erdatmosphäre
				für 2007 geplanter Satellit der Esa	6	zwischen zwei Dämmerungen					
Teil des Erdkörpers	amerik. Mondsonden (2. Wort)		lat. für nach					Sternbild von Sualocin (int. Abk.)	8		
	2				Sternbild Pfau (int. Abk.)			VLT-Teleskop			Spektralbereich (kurz)
deutscher Astronom (1841-1907)	Feuchtigkeitsfilm					amerik. Mondsonden (1. Wort)		atomare Masseneinheit (Abk.)		5	
4			Epsilon Pegasi		erster Mensch frei im Weltraum						1
Großteleskop (2 Hauptspiegel)	Ursprung v. Kassel Valles (... Chasma)							griech. Buchstabe		Sternbild von Schedar (int. Abk.)	tausend Parsec (kurz)
Teil des Space-Shuttles		7			Symbol von Lanthan		Uranusmond				
					Vulkankrater in Island	3				internat. Nachrichtenagentur	
Sternbild von Mira (lat. Gen.)	Sonnen-eruption							Sternbild von M 74 (int. Abk.)			

Lösung des Kreuzworträtsels aus SuW 1/2006

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



Kreuzworträtsel. Die eingekreisten Buchstaben bilden ein Lösungswort. Unter allen, die dieses Lösungswort bis zum **15. März** auf einer Postkarte an die Redaktion einsenden, verlosen wir ein Bresser Sirius 70/900, gestiftet von Fa. Meade, mit azimutaler Montierung, Alustativ, Zenitspiegel, 2fach-Barlow-Linse, Zubehör-Ablage, Astrosoftware, Sucherfernrohr sowie 3 Okularen. *Viel Spaß beim Knobeln!*

Die Lösung des Kreuzworträtsels in Heft 1/2006 lautet: **Vollmond**. Der glückliche Gewinner des Feldstechers Bresser Cobra 8x32 (bei 147 richtigen und 2 falschen Einsendungen) ist: **Harald Kamper**, Mittelrainstr. 2, D-89520 Heidenheim. *Herzlichen Glückwunsch! Red.*

»Zum Nachdenken« im Web

Einige Tage vor der Auslieferung des gedruckten Heftes lässt sich das aktuelle »Zum Nachdenken« auf der Homepage von SuW www.suw-online.de als PDF finden. Ältere Fassungen → SuW-Archiv → Zurückliegende Ausgaben.

Einsendungen

- Lösungen werden nur auf Papier – Brief oder Fax – akzeptiert, auf keinen Fall jedoch per E-Mail.
- Die Redaktion empfiehlt, Namen und Anschrift immer auf dem Lösungsblatt zu notieren.
- Lösungen, die nach dem angegebenen Stichtag eintreffen, können leider nicht berücksichtigt werden.

Die 25. Runde

Mit der Aufgabe im Juni-Heft 2005 begann die 25. Runde *Zum Nachdenken*. Alle Löser mit wenigstens neun richtigen Einsendungen aus den zwölf bis inklusive Mai 2006 erscheinenden Aufgaben in »Zum Nachdenken« werden bei der Verlosung im Sommer 2006 berücksichtigt. Zu gewinnen gibt es u.a. Freiabst. und als attraktiven Hauptpreis ein Meade DS-2070AT im Wert von 299 €, gestiftet von Fa. Meade Instruments Europe. Viel Spaß beim Nachdenken und viel Erfolg beim Lösen!

AMQ

Hauptpreise

Mit dem **Coronado PST** ist Sonnenbeobachtung für Jedermann möglich. Der 40-mm-Refraktor im Wert von 629 € enthält einen gekapselten H α -Filter mit der Halbwertsbreite von besser als einem Ångström, mit dem sich die Sonnenoberfläche im Licht der Wasserstofflinie erkunden lässt. Das Öffnungsverhältnis des Geräts ist f/10. Optional sind ein Tischstativ und zum optimalen Schutz des PST auch ein stabiler Transportkoffer erhältlich. Gestiftet von Fa. Meade Instruments Europe, www.meade.de.

Das **7x50-Fernglas New Ascot** von Vixen im Wert von 169 € besitzt multivergütete Objektive und Okulare für hohen Bildkontrast, BaK4-Porro-Prismen für hohe Bildschärfe sowie asphärische Optik für geringe Verzeichnung und hohe Randschärfe. Die Austrittspupille beträgt 7.1 mm, das Gesichtsfeld 6°4. Serienmäßiger Stativanschluss. Tragetasche, Riemen und Deckel sind im Lieferumfang enthalten. Gestiftet von Fa. Vixen Europe, www.vixen-europe.com.

