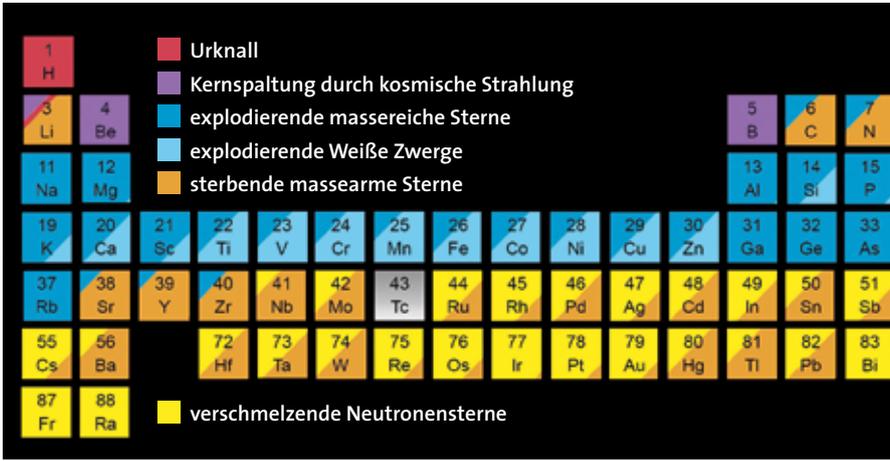


Jennifer Johnson / SDSS (http://mediaassets.caltech.edu/NSM#IMAGES); Bearbeitung: SuW-Grafik / CC BY 2.0 (https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode)



Ausschnitt aus dem Periodensystem der Elemente in SuW 12/2017, S. 35, in dem die Herkunft der verschiedenen Elemente farblich markiert ist. Es sind die orangefarbenen Dreiecke bei Elementen schwerer als Eisen, über die sich Herr Kammerer wunderte.

Durch die beiden hier dargestellten Kernreaktionen entstehen beim Heliumbrennen vereinzelt Neutronen (graue Kugeln). Diese speisen den langsamen s-Prozess.

Schwere Elemente aus leichten Sternen?

Mir ist die Grafik in SuW 12/2017, S. 35, – die in anderen astronomischen Publikationen in ähnlicher Form erschien – in einem wesentlichen Punkt unverständlich. Warum haben zahlreiche schwerere Elemente – beispielsweise Niob, Quecksilber oder Blei – in sterbenden massearmen Sternen ihren Ursprung? Nach meiner Kenntnis können in Sternen von etwa der Sonnenmasse oder masseärmer – dies verstehe ich unter massearmen Sternen – doch gar keine Elemente schwerer als etwa Sauerstoff »erbrütet« werden. Zunächst dachte ich, es seien damit eventuell Weiße Zwerge gemeint, die in einer Supernova-Explosion des Typs I vergehen. Aber diese sind ja gesondert verzeichnet. Und was sind die Wege, über die diese Elemente ins Universum gelangen?

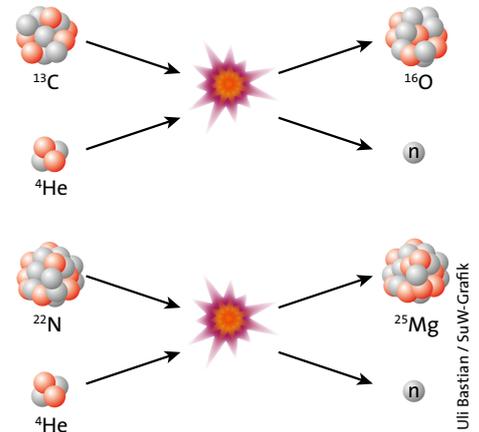
ANDREAS KAMMERER,
KARLSRUHE

Es ist vollkommen richtig, dass bei Sternen bis zu einigen Sonnenmassen die Kernreaktionen für die Energie-Erzeugung nur bis zum Heliumbrennen, also wie

von Herrn Kammerer gesagt, nur bis zur Herstellung von Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff reichen. Deshalb bestehen die »Leichen« dieser Sterne, die Weißen Zwerge, im Wesentlichen aus Kohlenstoff und Sauerstoff. Sie sind die ausgebrannten Kerne der Sterne, nachdem in der letzten Lebensphase (der so genannten AGB-Phase, aus englisch: »asymptotic giant branch phase«) die verbleibenden äußeren Wasserstoff- und Heliumhüllen in einem mächtigen Sternwind in das Universum geblasen wurden.

Die schweren Elemente wurden zuvor in sehr kleinen Mengen in den Helium-Brennzonen dieser Sterne erzeugt – und zwar unter Energieverlust, nicht -gewinn. Durch mehrfaches Umwälzen von großen Teilen des Sterninneren in der AGB-Phase werden die schweren Elemente mit der Hülle vermischt und mit dem Sternwind abgeblasen.

Der sie erzeugende kernphysikalische Mechanismus ist die gemütliche, langsame Anlagerung von Neutronen an Kerne der Eisengruppen-Elemente (Mangan, Eisen, Kobalt, Nickel ... (siehe Bild oben links).



Uli Bastian / SuW-Grafik

Diese sind im Stern in geringer Menge vorhanden; sie sind von früheren Supernovae in das interstellare Gas eingemischt worden, aus der unser massearmer Stern einst entstand. Und woher stammen die Neutronen? Aus unbedeutenden Nebenreaktionen des Heliumbrennens. Die beiden wichtigsten sind oben dargestellt. Der ganze Mechanismus heißt in der Fachsprache übrigens s-Prozess, von englisch »slow« = langsam. In einer kommenden Ausgabe wird SuW ausführlich über Nukleosynthese berichten.

ULRICH BASTIAN

Lob und eine Frage

Ich lese regelmäßig Ihre Hefte und möchte Sie an dieser Stelle ausdrücklich für Ihre sehr gute Arbeit loben. Ganz fasziniert bin ich von Ihren Grafiken, die Sie gerne mit »künstlerische Darstellung« betiteln. Ich möchte Sie fragen, ob es eine Sammlung dieser wunderbaren Grafiken gibt? Vielleicht eine

Sammlung als Heft oder als PDF? Ich muss sagen, dass meine Fantasie zwar auch von den Texten angeregt wird, es sind aber besonders die Bilder, die den Geist beflügeln.

ARNE SCHLÜTER,
KIEL

Nein, eine solche Sammlung gibt es nicht. Die meisten

dieser künstlerischen Darstellungen wurden auch nicht von SuW erstellt. Sie sind in der Regel Teil von Pressemitteilungen. Nun ja, in Form der SuW-Hefte oder ihres elektronischen PDF-Äquivalents gibt es sie indirekt doch. Mittels des Gesamtjahresregisters auf den Jahrgangs-CD-Roms können Sie sich alle Bilder erschließen.

Wenn Sie die PDF-Version von SuW abonniert haben, dann können Sie sich eine solche Sammlung im Prinzip selbst zusammenbasteln, aber nur zum persönlichen Gebrauch. Eine Veröffentlichung, sei es in gedruckter Form, im Internet oder auf Vorträgen, wäre ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlags nicht legal. RED.

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage unter www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe, wo Sie auch Ihren Leserbrief direkt in ein Formular eintragen können.

Zuschriften per E-Mail: leserbriefe@sterne-und-weltraum.de

Artikelserie Kernfusion

Ich möchte ich Sie zu der Artikelserie »Kernfusion« von Dietrich Lemke in SuW 1 bis 3/2018 beglückwünschen. Hochinteressante, gut zu lesende Artikel, die auch dem Nichtastrophysiker einen verständlichen Einblick in die spannende Materie geben. Danke!

ROLF SCHLEE, ST. INGBERT

Bremsmanöver bei Alpha Centauri

Mit großem Interesse habe ich die beiden Artikel »Die erste Reise zu den Sternen« und »Bremsmanöver bei Alpha Centauri« in SuW 4/2018 gelesen. Aber kann es sein, dass sich bei den beiden Grafiken auf S. 35 der Fehlerteufel eingeschlichen hat? In dem oberen Bild wird die Geschwindigkeit des Satelliten bei der Abbremsung an Alpha Centauri A angegeben. Von anfänglich 1076 auf 129 Kilometer pro Sekunde.

In dem unteren Bild wird die Sonde bei Alpha Centauri A von knapp 14 000 auf rund 7000 Kilometer pro Sekunde abgebremst. Wie passen die beiden Werte zusammen?

GERHARD FORSTER

Nein, das ist nicht der Druckfehlerteufel gewesen; beide Bilder sind korrekt. Aber sie



BONNINSTUDIO / Getty Images / iStock

Das derzeit noch extrem teure Material Graphen besteht aus einer einzigen ebenen Schicht aus Kohlenstoff-Atomen, die in einem regelmäßigen Sechseck-Muster miteinander verbunden sind.

gehören zu zwei verschiedenen Missions-szenarien, die vom Autor durchgerechnet wurden:

■ **Reisegeschwindigkeit 1270 Kilometer pro Sekunde**, mäßige Abbremsbeschleunigung bei Alpha Centauri A, deshalb »normale« Segelmaterialien verwendbar, aber Reisezeit 1000 Jahre.

■ **Reisegeschwindigkeit 13 800 Kilometer pro Sekunde**, riesige Abbremsbeschleunigung und Hitzebelastung bei Alpha Centauri A und B; deshalb nur das exotische Segelmaterial Graphen verwendbar (heutige Kosten eine Milliarde Euro pro Segel mit einigen Quadratmetern), aber dafür Reisezeit »nur« 100 Jahre.

Vielen Dank für die Frage, die uns den Anlass zu dieser Klärung gegeben hat. RED.

SOFIA in Hamburg

Ich habe heute (3. März 2018) zufällig die fliegende Infrarotsternwarte SOFIA am Flughafen in Hamburg entdeckt. Es wurden dort wohl die Triebwerke auf der Startbahn überprüft. Nach einem dumpfen Knall war der Test dann erst mal zu Ende, und es ging zurück in den Hangar.

HANS-PETER OHRTMANN,
HAMBURG-NIENDORF

Herr Ohrtmann hat richtig vermutet: Die Boeing 747SP, die von NASA und DLR als »Stratosphären-Observatorium für Infrarot-Astronomie« betrieben wird, war zur Routinewartung bei der Lufthansa Technik AG in Hamburg. Am Samstag, dem 3. März 2018, haben auf der Piste 05 obligatorische Funktionstests der Bremsen und der Lenkung stattgefunden. So kam Herr Ohrtmann zu seinem Schnappschuss. Die Rolltests mussten allerdings nach rund 15 Minuten abgebrochen werden, da sich bei Vollgastests und böigem Wind (Böen von bis zu 15 Knoten) ein so genannter »Compressor Stall« an einem der vier Triebwerke ereignet hat – begleitet von einem lauten Knall. Dabei kommt es in der Turbine zu einer kurzzeitigen Rückströmung, und das Jettriebwerk »verschluckt« sich, bevor es wieder normal weiterläuft. Mittlerweile ist SOFIA wieder in den USA an seinem normalen Einsatzort in Palmdale, Kalifornien.

DR. DÖRTE MEHLERT,
DEUTSCHES SOFIA INSTITUT, UNIVERSITÄT STUTTGART

Eine ausführliche Beschreibung von SOFIA findet sich in SuW 7/2011, S. 43, und neuere Informationen enthalten beispielsweise SuW 1/2016, S. 95, 2/2015, S. 22, und 8/2014, S. 17.



Hans-Peter Ohrtmann

Hans-Peter Ohrtmann fotografierte am 3. März 2018 zufällig den Jumbojet mit der deutsch-amerikanischen Flugzeugsternwarte SOFIA auf dem Hamburger Rollfeld bei Tests von Lenkung und Bremsen.

Hundert Millionen Kelvin auf zwei Meter?

Mit großem Interesse habe ich Ihren Dreiteiler über die Kernfusion in den Heften Januar, Februar und März 2018 gelesen. Im letzten Teil bin ich auf eine Stelle gestoßen, die mich zu einer Frage führte. Sie schreiben in der Märzausgabe auf S. 42 von einem »... Temperaturunterschied von 150 Millionen Grad auf knapp zwei Metern ...«

Nun zu meiner Frage: Gibt es irgendwo im Weltall Orte mit vergleichbaren Gradienten eines physikalischen Zustands? Lokal extreme Drucke und Temperaturen sind ja soweit bekannt, aber Änderungen (Gradienten) über so kleine räumliche Distanzen sind mir unbekannt – insbesondere auch mit der Forderung, dass dieser extreme Unterschied über eine gewisse Zeit stabil gehalten werden soll.

GERHARD MINICH, REPPENSTEDT

In der Tat sind extreme Temperaturgradienten schwer aufrechtzuerhalten. Energie muss dafür mit sehr hoher Rate erzeugt werden, weil zum Beispiel Wärmeleitung einen Abbau des Gradienten bewirkt. Daher kann er in der Natur nicht ortsfest über einen langen Zeitraum stabil sein. Starke Temperaturgradienten spielen in astrophysikalischen Prozessen trotzdem eine herausragende Rolle bei dynamischen Phänomenen. Ein gutes Beispiel dafür sind thermonukleare Brennfronten in Weißen Zwergsternen, wenn sie als Supernova vom Typ Ia explodieren.

Die Energie für diese gewaltigen kosmischen Explosionen stammt aus der Kernfusion von Kohlenstoff und Sauerstoff zu



Friedrich Röpke

In einem als Supernova explodierenden Weißen Zwerg kommt es kurzzeitig zu extremen Temperaturgradienten. Die Schichten sind nur wenige Millimeter dick, aber die Temperaturunterschiede können Milliarden Grad betragen. Die Simulation verdeutlicht eine thermonukleare Deflagration (weiß-orange) im Inneren eines Weißen Zwergs mit 1,4 Sonnenmassen eine Sekunde nach Zündung der Supernova-Explosion.

schwereren Elementen. Dazu müssen zwei stark positiv geladene Atomkerne ihre enorme elektrische Abstoßung überwinden, bevor sie miteinander verschmelzen können. Das ist nur bei sehr hohen Temperaturen möglich. Unter den Bedingungen in einer Supernova-Explosion wächst die Reaktionsrate etwa mit der zwanzigsten Potenz der Temperatur: Eine Abnahme von 20 Prozent in der Temperatur senkt die Rate auf ein Hundertstel, schaltet den Prozess also praktisch ab.

Daher ist das nukleare »Brennen« nur dort effektiv, wo die Temperatur am höchsten ist, und es bleibt jederzeit auf einen sehr kleinen Bereich beschränkt. Es beginnt nahe des Zentrums des explodierenden Sterns und breitet sich innerhalb von rund zwei Sekunden von dort bis zur Oberfläche aus, also über einige tausend Kilometer. Dies geschieht in Form von Verbrennungswellen (Fronten), wie sie in ähnlicher Form auch in irdischer chemischer Verbrennung vorkommen. Die Fronten haben im Weißen Zwerg eine Dicke im Bereich von Millimetern, und die Temperatur steigt in ihnen von etwa zehn Millionen Kelvin auf einige Milliarden Kelvin an.

Der resultierende Temperaturgradient ist also noch um Zehnerpotenzen höher als der von Herrn Minich genannte. Aber er ist nicht ortsfest. Die Brennfronten fressen sich rasend schnell durch das Material hindurch. Hierfür sind zwei Mechanismen möglich: Wärmeleitung aus der Reaktionszone heizt das unverbrannte Material, und so breitet sich die Reaktion mit Unterschallgeschwindigkeit als so genannte Deflagration aus. Die Alternative ist eine Überschalldetonation, bei der eine mechanische Stoßwelle die Aufheizung bewirkt und so die Brennfront vorantreibt. Die Details des Explosionsmechanismus der Supernovae vom Typ Ia sind noch nicht vollständig verstanden; sie werden mit aufwändigen Computersimulationen erforscht (siehe Bild links).

FRIEDRICH RÖPKE ist Professor für Theoretische Astrophysik an der Universität Heidelberg und leitet eine Forschungsgruppe am Heidelberger Institut für Theoretische Studien, die sich unter anderem mit Simulationen von thermonuklearen Supernova-Explosionen beschäftigt.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.

Evolutionäres Design – EXPLORE SCIENTIFIC EXOS II PMC-Eight OpenGOTO



NEU!



**SOFORT
lieferbar!**

**SOFORT
lieferbar!**

ab € 3990^{00*}

€ 990^{00*}



Eigenschaften

- PMC-Eight OpenGOTO System
- ExploreStars OpenGOTO Software
- Drahtlose WiFi-Verbindung
- Steuerung per Windows oder Android über PC**, Tablet** oder Smartphone**

- Steuerung per Richtungstasten oder Joystick
- Intuitive 2-Stern- und 3-Stern-Ausrichtung
- Umfangreiche grafische Objektdatenbank
- Digitale Sternkarten zur Orientierung
- Micro-Stepper-Motoren NEMA 11/16
- ASCOM Treiber inkl. Pulse-Guiding
- Geräuscharmer Zahnriemenantrieb bei EXOS-II
- Direktantrieb der Schneckenwelle bei G11

- ST-4 Autoguider-Anschluss
- ASCOM-Treiber verfügbar
- Betriebssystem:
Windows 8.1, Windows 10 oder Android



EXPLORE SCIENTIFIC

Besuchen Sie uns auf  facebook.com/ExploreScientific

www.explorescientific.de



Explore Scientific GmbH · Gutenbergstr. 2 · 46414 Rhede · Tel. +49 28 72 - 80 74-400 · Fax +49 28 72 - 80 74-411 · info@explorescientific.de

*Unverbindliche Preisempfehlung des Herstellers in Euro inkl. MwSt. (DE), zzgl. Versand. **nicht enthalten



BRESSER® PULSAR Domes

- Beste Fertigungsqualität aus England
- Dauerhaft wetterbeständiges GFK Material
- Hohe Abweisung von Wärmestrahlung
- Stabiler Schließmechanismus
- Einfaches und passgenaues Design
- Selbstmontage oder Aufbauservice auf Anfrage
- Motorgesteuerte Rotation als optionales Zubehör erhältlich
- Motorgesteuerter Kuppelspalt als optionales Zubehör erhältlich
- Automatikbetrieb über Internet möglich
- Verfügbar in weiß - weitere Farben z.B. grün auf Anfrage
- Weitere Informationen und Zubehör unter www.bresser.de

**Sofort ab Lager
in Deutschland
lieferbar!**

ab € 3950^{00*}

Die Lieferung erfolgt ausschließlich per Spedition. Die Lieferkosten sind abhängig von der Lieferadresse. Bitte erfragen Sie diese per e-Mail unter orders.shop@bresser.de oder per Telefon unter +49 2872 8074 300.

www.bresser.de

Besuchen Sie uns auf:



Bresser GmbH · Gutenbergstr. 2 · 46414 Rhede · Tel. +49 28 72 - 80 74-300 · Fax +49 28 72 - 80 74-333 · info@bresser.de