

SPEKTROGRAMM





GALAXIENHAUFEN AUS DEM COMPUTER

► Deutsche und US-amerikanische Astrophysiker haben am Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart die bisher aufwändigste Simulation unseres Universums durchgeführt. Mit Hilfe der dortigen Supercomputer haben die Wissenschaftler untersucht, wie sich der Kosmos seit dem Urknall in einem eine Milliarde Lichtjahre messenden Würfel entwickelt haben müsste. Um das dynamische Zusammenspiel von Galaxien, Gaswolken und Dunkler Materie zu simulieren, mussten mehr als 24 000 Prozessoren zwei Monate lang rechnen. Insgesamt fielen mehr als 500 Terabyte an Daten an.

Hier ist ein Ausschnitt rund um den zweitschwersten Galaxienhaufen der »Illustris-TNG«-Simulation (siehe **Spektrum** Januar 2015, S. 10) zu sehen. Die ungewöhnliche Farbgebung veranschaulicht, wie schnell sich das Gas in dem 32 Millionen Lichtjahre breiten und 320 000 Lichtjahre tiefen Volumen bewegt. In den hell gefärbten Regionen schleudert die Schwerkraft von supermassereichen Schwarzen Löchern Gas mit mehr als 1000 Kilometern in der Sekunde durchs All. An dunklen Stellen bewegt es sich hingegen fast gar nicht. Das ist insbesondere in den Filamenten zwischen den Galaxienhaufen der Fall, welche die großen Masseansammlungen im All wie feine Fäden verbinden.

MNRAS 475, 1, 2018

ILLUSTRING COLLABORATION



FERRO SQUINA

Die Striche und Linien an den Wänden der nordspanischen La-Pasiega-Höhle sind möglicherweise 65 000 Jahre alt. Als Urheber kommen somit vor allem die Neandertaler in Frage.

ARCHÄOLOGIE MALEREIEN DER NEANDERTALER?

Womöglich haben bereits die Neandertaler die Wände ihrer Höhlen bemalt. Darauf deuten zumindest in rotem Ocker aufgebraachte Formen und Figuren in drei spanischen Höhlen hin, die ein internationales Forscherteam um Dirk Hoffmann vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie in Leipzig nun erstmals genau datiert hat. Demnach sind die Malereien – Striche, Reihen von Punkten und Negativabdrücke von Händen – mindestens rund 65 000 Jahre alt. Der *Homo sapiens* traf nach gegenwärtigem Kenntnisstand jedoch erst vor etwa 45 000 Jahren in Europa ein.

Bekannt sind die eher unauffälligen Malereien in den Höhlen von La Pasiega, Maltravieso und Ardales (die in Nord-, West- beziehungsweise Südspanien liegen) schon länger.

Dass Hoffmann und Kollegen sie nun den Neandertalern zuordnen können, ist verbesserten Datierungsmöglichkeiten zu verdanken. Die Forscher machten sich zu Nutze, dass das Wasser, das über die Höhlenwände rinnt und auf den Malereien Kalkablagerungen bildet, winzige Spuren Uran enthält.

Aus dem Mengenverhältnis des heute noch vorhandenen Elements zu seinem Zerfallsprodukt Thorium lässt sich ablesen, wann die Kalkablagerungen entstanden. Liegen sie über oder unter dem Ockeranstrich, ergibt sich ein

Höchst- respektive Mindestalter.

Das Ergebnis reiht sich in eine wachsende Liste von Indizien ein, dass sich Neandertaler lange vor Eintreffen des modernen Menschen künstlerisch ausdrücken konnten. Dafür sprechen beispielsweise auch mit Ocker verzierte Muschelschalen, die vor einiger Zeit in der spanischen Cueva de los Aviones gefunden wurden und die so alt sind, dass sie eigentlich nur von unserer Schwesterart stammen können. Auch ein tief in der französischen Bruniquel-Höhle verstecktes Bauwerk aus Stalagmiten deutet in diese Richtung. Mit einem Alter von 176 000 Jahren ist es klar vor Ankunft des modernen Menschen entstanden.

Science 359, S. 912–195, 2018

CHEMIE SUPERIONISCHES WASSER

Chemiker unterscheiden mehr als ein Dutzend Phasen von Wasser, von denen die meisten allerdings nur unter extremen Temperaturen und Drücken auftreten. US-amerikanische Wissenschaftler haben nun für einige Sekundenbruchteile einen besonders exotischen Typ erzeugt, dessen Existenz Forscher bereits vor 30 Jahren prognostiziert hatten und der im Inneren der Planeten Neptun und Uranus eine wichtige Rolle spielen könnte.

Dieses »superionische« Wasser ist gewissermaßen ein Mix aus festen und flüssigen Bausteinen; in ihm schwimmen Wasserstoffionen um ein Kristallgitter aus Sauerstoffatomen. Das Team um Marius Millot vom Lawrence Livermore National Laboratory in Kalifornien erzeugte den exotischen Zustand in zwei Schritten. Zuerst pressten die Forscher eine winzige Wasserprobe bei Raumtemperatur mit zwei Diamanten zusammen. Unter einem Druck von etwa 25 000 Atmosphären ordneten sich die Moleküle daraufhin in einem kubisches Kristallgitter an – Experten sprechen von Eis-VII.

Anschließend beschossen die Wissenschaftler diese Probe mit Laserpulsen. Die Strahlung traf dabei auf eine Schicht aus Gold und Kunststoff an der Oberfläche der Diamanten und übertrug den Elektronen in dem Material so viel Energie, dass sie sich von den Atomrümpfen lösten.

Dadurch entstand ein ionisiertes Gas, das rasant von der Oberfläche abströmte und eine Stoßwelle erzeugte, die das kubische Eis noch stärker zusammenpresste. Insgesamt wirkten so für einige Milliardstelsekunden Drücke von mehreren Millionen Atmosphären und Temperaturen von einigen tausend Grad Celsius auf das Wasser – Bedingungen, wie sie auch im Inneren der Planeten am Rand unseres Sonnensystems herrschen müssten.

Mit einem weiteren Laser ermittelten die Materialwissenschaftler den

Aggregatzustand der eingeschlossenen Probe. In gewöhnlichen Leitern transportieren freie Elektronen den Strom, wohingegen in superionischem Eis die Wasserstoffionen als Ladungsträger dienen. Bewegte Elektronen reflektieren Licht – aus diesem Grund glänzen Metalle. Die elektrisch leitende Wasserprobe erwies sich im Experiment jedoch als matt, was die These der Forscher stützt, dass die Ionen den Strom transportierten, was charakteristisch für superionisches Wasser ist.

Nat. Phys. 10.1038/s41567-017-0017-4, 2018

ASTRONOMIE SCHNAPPSCHUSS EINER SUPERNOVA

► Eigentlich wollte Víctor Buso am 20. September 2016 nur seine neue Astrokamera testen. Also richtete der argentinische Amateurastronom sein 40-Zentimeter-Teleskop auf die 80 Millionen Lichtjahre entfernte Galaxie NGC 613, die an diesem Tag nahe dem Zenit stand. Nach einigen Stunden tauchte am unteren Rand der Sternensichel plötzlich ein Punkt auf, der immer heller wurde. Buso meldete die

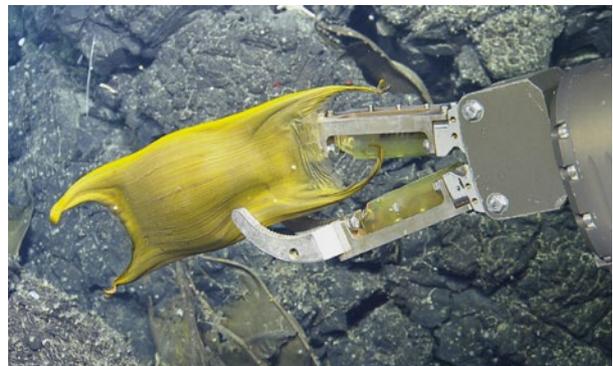
Entdeckung rasch professionellen Astronomen, die binnen eines Tages mehrere Großinstrumente auf die ferne Galaxie ausrichteten, darunter den Gammastrahlen-Satelliten Swift und die Zehn-Meter-Spiegelteleskope des Keck-Observatoriums auf Hawaii.

Nun haben die Astrophysiker eine Auswertung der mehrmonatigen Messkampagne veröffentlicht. Ihr zufolge wurde Buso auf dem Dach seines Hauses Zeuge einer seltenen Variante von Sternexplosion, einer Supernova vom Typ IIb. Bei ihr schleudert ein Riesenstern seine

MEERESÖKOLOGIE SCHWARZE RAUCHER ALS BRUTKÄSTEN

► Als Wissenschaftler 1977 im Pazifik erstmals Hydrothermalquellen entdeckten, waren sie verblüfft angesichts der Fülle an Organismen fernab des Sonnenlichts. Über vulkanartige Schlote strömen hier bis zu 400 Grad Celsius heiße Fluide aus dem Ozeanboden, die reich an Metallen und anderen reduzierten chemischen Verbindungen sind. Bakterien gewinnen daraus Energie und bilden die Lebensgrundlage für Muscheln, Krabben und Röhrenwürmer. Nun berichten Meeresbiologen um Pelayo Salinas-de-León von der Charles Darwin Research Station auf den Galapagosinseln, dass auch Tiefseerochen Teil dieses komplexen Ökosystems sind. Offenbar suchen sie zur Eiablage gezielt Schwarze Raucher auf, damit sich ihre Nachkommen in der warmen Umgebung schneller entwickeln.

Das internationale Forscherteam erkundete mit einem Tauchroboter Hydrothermalquellen in knapp 1700 Meter Tiefe nahe der Galapagosinsel Darwin. Rings um zwei aktive Schwarze Raucher zählten die Biologen mehr als 150 Rocheneier. Anhand von DNA-Proben konnten sie die zirka elf Zentimeter langen Kapseln mit dornartigen Fortsätzen dem Pazifischen Weißrochen *Bathyrāja spinosissima* zuordnen. Die Embryonalentwicklung dieser Art gehört zu den längsten im gesamten Tierreich: Erst nach etwa vier Jahren schlüpft der Nachwuchs. An den Fundorten lag die Temperatur einige Grad über dem Mittelwert des Meerwassers in



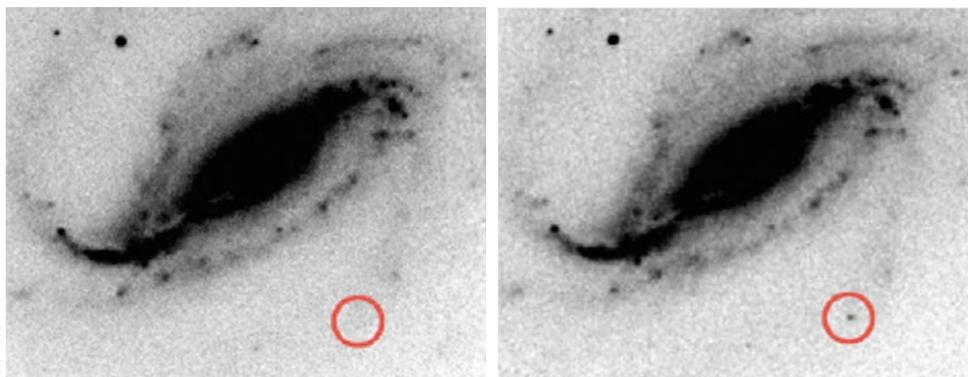
OCEAN EXPLORATION TRUST

Das Foto zeigt das Ei eines Tiefseerochens, das vom Greifarm eines Tauchroboters angehoben wird. Die Tiere laichen an Hydrothermalquellen vor den Galapagosinseln.

Bodennähe von 2,8 Grad Celsius. Die Forscher vermuten, dass die heißen Schlote als natürliche Brutkästen dienen und die Rochenbabys ihre Eikapseln hier deutlich früher verlassen.

Wie viele Tiefseebewohner wachsen Weißrochen extrem langsam und haben nur wenige Nachkommen. Entsprechend gefährdet sind sie durch Fischfang in immer größeren Tiefen sowie Bestrebungen, Gold, Kupfer und andere wertvolle Metalle am Grund der Ozeane zu schürfen. Für die warme Kinderstube der Rochen bei Darwin gibt es jedoch Entwarnung: 2016 hat Ecuador die Region zum Schutzgebiet erklärt, in dem jegliche Rohstoffgewinnung verboten ist.

Sci. Rep. 10.1038/s41598-018-20046-4, 2018



Von seinem Hausdach aus beobachtete der Argentinier Víctor Buso am 20. September 2016 die Entstehung einer Supernova: In den frühen Morgenstunden tauchte am unteren Rand der Galaxie NGC 613 ein Punkt auf (rechts), der eine Stunde zuvor noch nicht zu sehen war (links). In einer Galaxie kommt es nur etwa einmal pro Jahrhundert zu solch einem Ereignis.

obersten Schichten aus Wasserstoffgas bereits ins All, bevor er am Ende seines Brennzklus zu einem Schwarzen Loch kollabiert und so eine Supernova zündet.

Dank dem Zufallsfund des argentinischen Schlossers konnten die Experten um Melina Bersten vom Instituto de Astrofísica de la Plata den Startpunkt dieses Sterntodtyps nun erstmals auf einen knapp dreistündigen Zeitraum eingrenzen. Die Aufnahmen Busos (siehe Bilder) liefern außerdem die ersten Helligkeitswerte aus der so genannten »shock-breakout«-Phase: jenen ersten Minuten bis Stunden, in denen die vom Sternkollaps losgetretene Stoßwelle die abgestoßene Wasserstoffwolke durchpflügt und die Atome darin zum Leuchten anregt.

Die Aufnahmen Busos belegen, dass sich eine Supernova in dieser Phase nicht nur im Röntgen- und Gammalicht bemerkbar macht, sondern auch bei für Menschen sichtbaren Wellenlängen viel Strahlung abgibt. Davon waren Astro-

nomen schon länger ausgegangen, ein Nachweis stand aber noch aus. Insgesamt spricht die am Computer durchgeführte Rekonstruktion der Forscher dafür, dass die »Supernova 2016gkg« einen Stern zerfetzte, der 4,6-mal so schwer und 183-mal so groß wie unsere Sonne war.

Nature 554, S. 497–499, 2018

MATERIALWISSENSCHAFT SUPERFESTES HOLZ

► Eine spezielle Behandlung mit Chemikalien, Hitze und Druck macht Holz steifer und fester als viele Spezialstähle, berichtet ein Team um Jinwei Song von der University of Maryland. Bei dem Verfahren kochen die Forscher den Baustoff zunächst in einer Salzlauge, anschließend lassen sie unter Hitze und Druck dessen Poren kollabieren. Durch den Prozess wird das Holz dreimal so dicht wie das natürliche Material; seine Steifigkeit und spezifische Festigkeit steigen auf mehr als das Zehnfache. Weil

das so behandelte Holz immer noch leichter ist als Stahl und andere Legierungen, könnte es für manche Anwendungen besser geeignet sein.

Die Materialwissenschaftler setzten Holzblöcke in ihrem Labor zuerst einer heißen Lösung von Natriumhydroxid und Natriumsulfid aus – der Prozess ähnelt der Behandlung von Holzfasern bei der Papierherstellung. Die alkalische Lösung entfernt einen Teil des Lignins und der Hemicellulose aus dem Holz, und das scheint die Eigenschaften des Materials beim Heißpressen ganz erheblich zu verändern.

Frühere Versuche, Holz durch Druck und Hitze zu einem deutlich stärkeren Werkstoff zu verarbeiten, waren nur bedingt von Erfolg gekrönt gewesen. Die mechanische Festigkeit stieg nur etwa proportional zur Dichte. Nach Angaben der Arbeitsgruppe verhält sich das veränderte Holz anders, weil sich winzige Zellulosefasern in einer dichten Parallelstruktur zusammenlagern, was in unbehandeltem Holz das Lignin

verhindert. Zusätzlich soll der verdichtete Werkstoff beim Kontakt mit Wasser nicht so stark aufquellen. Unklar ist allerdings noch, ob das Holz durch die Entfernung des Lignins anfälliger für Pilzbefall wird, was aus Sicht von Experten denkbar ist.

Nature 554, S. 224–228, 2018

GEODÄSIE HÖHENMESSUNG MIT ATOMUHR

► Physiker um Christian Lisdat von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig haben mit einer mobilen Atomuhr ermittelt, wie viele Meter über dem Meeresspiegel ein Tunnel durch einen Berg in Südf frankreich führt. Die Messung basiert auf einem Phänomen, das Albert Einstein in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie beschrieben hat: Für einen außen stehenden Betrachter geht eine Uhr etwas langsamer, wenn sie sich näher an einer großen Masse befindet, Experten sprechen von gravitativer Zeitdilatation.

Die Forscher nutzten für ihren Versuch eine optische Atomuhr, in der auf knapp über den absoluten Nullpunkt gekühlte Strontiumatome stecken. Das Hochpräzisionsgerät misst Zeit, indem es zählt, wie oft Elektronen in der Hülle der Atome von einem Energieniveau in ein anderes hüpfen, was stets mit einem charakteristischen Strahlungspuls einhergeht. In einem auf Höhe des Meeresspiegels gelegenen Labor passiert dies exakt

429 228 004 229 873-mal pro Sekunde.

Etwa 1000 Meter weiter oben – wo die Schwerkraft etwas geringer ist als näher am Erdmittelpunkt – vergeht die Zeit ein klein wenig schneller. Das Elektron hat dadurch in dem Zeitraum, in dem auf Meeresebene eine Sekunde

vergangen ist, 48 Sprünge mehr ausgeführt. Das berichten die Forscher nach Messungen im südfranzösischen Mont-Cenis-Tunnel und dem Vergleich mit einer Atomuhr im italienischen Flachland per Glasfaserkabel.

Damit haben die Wissenschaftler laut eigener Aus-

sage bewiesen, dass sich optische Atomuhren auch mobil einsetzen lassen. Bisher konnte man entsprechende Messungen nur in Laboren durchführen. Für ihr Feldexperiment brachte das Team eine Strontiumuhr nun erstmals in einem Lkw-Anhänger unter. Zwar liegt die Genauigkeit der

Messmethode noch deutlich unter der von Standardverfahren der Geodäsie. Aber künftig könnte man damit Höhenunterschiede von zehn Zentimetern messen und so andere Messungen ergänzen, hoffen die Forscher.

Nat. Phys. 10.1038/s41567-017-0042-3, 2018

BIOLOGIE ÜBERLEBENSTRICK DES BOMBARDIERKÄFERS

► Eine besondere Strategie, seinen Fressfeinden zu entkommen, hat der Bombardierkäfer *Pheropsophus jessoensis* entwickelt: Er wehrt sich sogar noch, nachdem er schon verspeist wurde, und das sogar recht erfolgreich, wie jetzt Shinji Sugiura und Takuya Sato von der japanischen Kobe University berichten. Gerade verschluckt, schießt der Käfer im Magen der Kröte nämlich einen Strahl heißes, ätzendes Sekret aus einer Hinterleibsdrüse – eine Strategie, die den Bombardierkäfern ihren Namen eingebracht hat. Normalerweise dient die Waffe zur Abschreckung. In diesem Fall jedoch ätzen sich die Käfer mit ihrer Hilfe quasi zurück in die Freiheit. Das Sekret bringt die Kröten zum Erbrechen; und der eigentlich schon verspeiste Käfer entkommt.

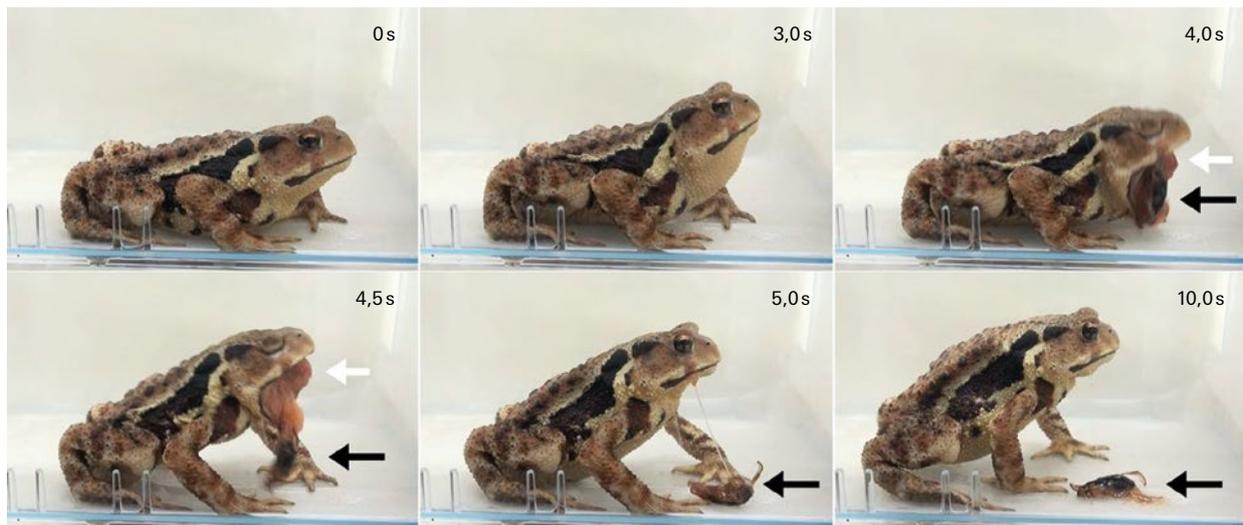
Bombardierkäfer mischen die Stoffe Wasserstoffperoxid und Hydrochinon und geben im richtigen Moment Enzyme dazu, welche die ohnehin heftige Reaktion stark beschleunigen. Dadurch spritzt das siedende Gemisch aus den Ausgangsstoffen und den

Reaktionsprodukten Sauerstoff und Benzochinon mit hoher Geschwindigkeit durch eine Drüse nach außen.

Die Forscher testeten, wie 46 beziehungsweise 28 Kröten der Arten *Bufo japonicus* und *Bufo torrenticola* auf diese Art der Verteidigung reagierten. Die Biologen piksten jeweils die Hälfte der Käfer vor dem Experiment an, so dass sie den Inhalt ihrer Drüse entleerten. Anschließend setzten sie die Krabber je einer Kröte zum Fraß vor. Dabei zeigte sich, dass fast alle Käfer, die ihr Sekret bereits verschossen hatten, verdaut wurden. Von den unbehandelten Käfern entkam jedoch etwa die Hälfte, wobei zwischen Aufessen und Ausspucken zwischen zwölf Minuten und ein- und einviertel Stunden vergingen.

Bio. Lett. 10.1098/rsbl.2017.0647, 2018

Schwer verdaulich: Die Bildfolge zeigt die kurze Zeitspanne, in der eine Kröte der Art *Bufo japonicus* einen zuvor verspeisten Bombardierkäfer herauswürgt.



SUGIURA, S., SATO, T.: SUCCESSFUL ESCAPE OF BOMBARDIER BEETLES FROM PREDATOR DIGESTIVE SYSTEMS. IN: BIOLOGY LETTERS 14, 10.1098/rsbl.2017.0647, 2018. FIG. 1. ABRUCK GEMENKT VON THE ROYAL SOCIETY / CC