

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



LICHT & LEUCHTEN

Heiß und stürmisch: Plasma-Tornados im Labor

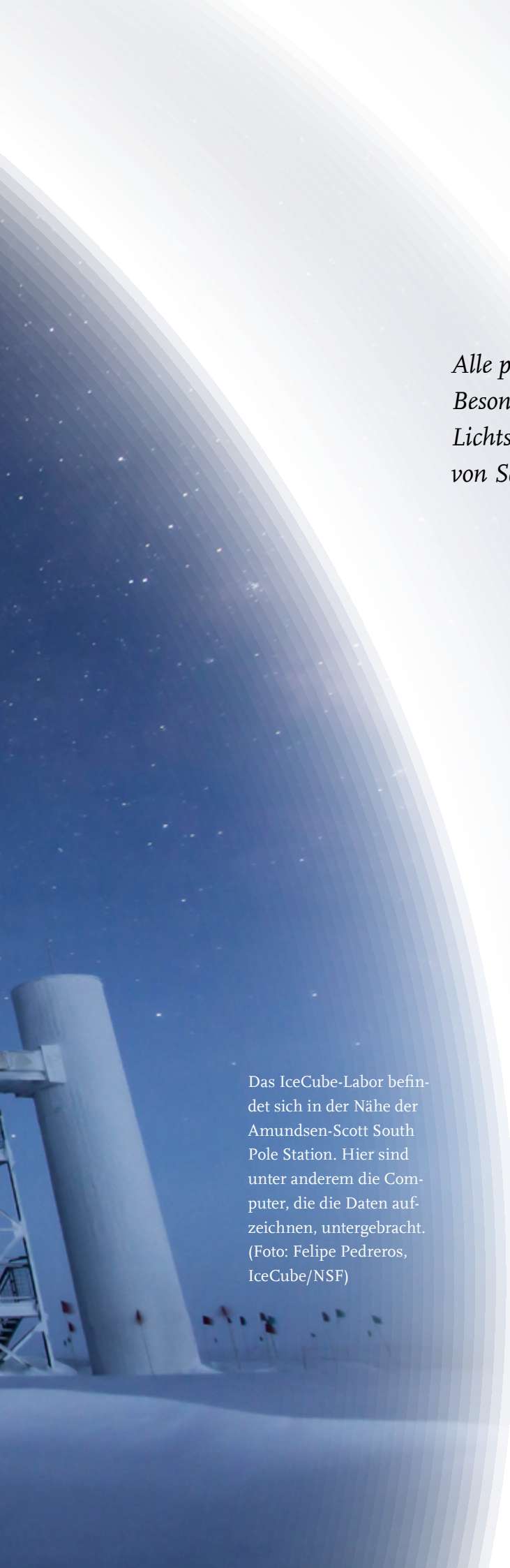
Glanzvoll und gülden: Metallschmuck in Mittelamerika

Zu viel und schädlich: Lichtverschmutzung

Astrophysik

ABSENDER VERZWEIFELT GESUCHT





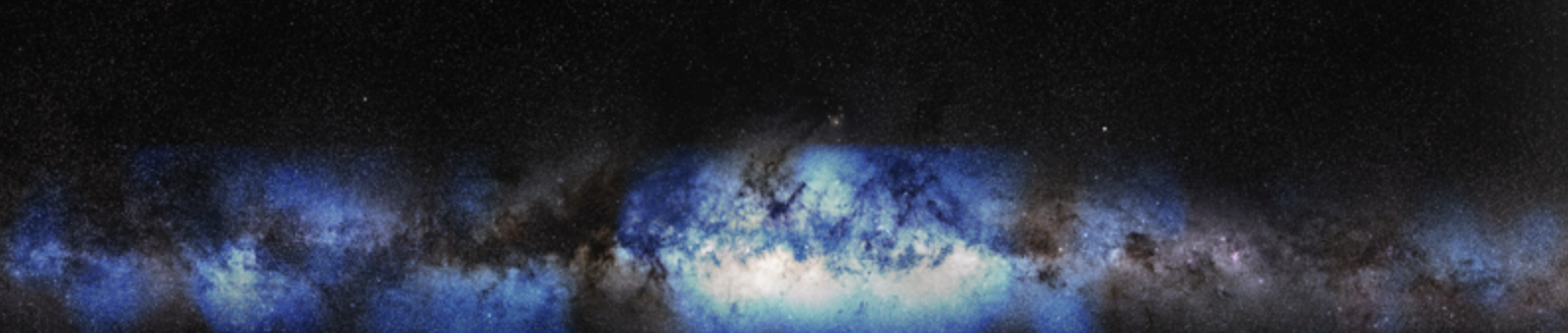
Das IceCube-Labor befindet sich in der Nähe der Amundsen-Scott South Pole Station. Hier sind unter anderem die Computer, die die Daten aufzeichnen, untergebracht. (Foto: Felipe Pedreros, IceCube/NSF)

Alle paar Wochen passiert in der Antarktis etwas Besonderes: Tief unter der Oberfläche zieht eine Lichtspur durch das Eis. Sie dauert nur Bruchteile von Sekunden, aber beschäftigt Forschende jahrelang.

Am Südpol erstreckt sich der Neutrino-Detektor „IceCube“ bis zu 2,5 Kilometer tief in die Eisschicht. Seit 2009 suchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, auch von der Ruhr-Universität Bochum, mit seiner Hilfe nach den Quellen der kosmischen Strahlung. Diese Strahlung prasselt unaufhörlich auf die Erde ein – in Form von verschiedenen Teilchen, etwa Elektronen, Protonen oder auch Neutrinos. Die Strahlung ist überall. Aber welche Himmelsobjekte sie aussenden, ist ungewiss. Neutrinos sollen helfen, den Quellen auf die Schliche zu kommen. Nicht umsonst werden sie auch als Geisterteilchen bezeichnet. Sie können Raum und Materie über riesige Distanzen durchdringen, ohne zu wechselwirken. Das macht sie zu den idealen Kandidaten, um nach den Quellen der kosmischen Strahlung zu suchen, weil sie – egal welche Hindernisse sich ihnen in den Weg stellen – auf mehr oder weniger direktem Weg von ihrem Ursprung aus zur Erde fliegen.

Ihre geisterhafte Natur ist also ein großes Glück – und zugleich eine große Herausforderung. Denn messen kann man Neutrinos auf der Erde nur, wenn sie dort zufällig doch mal mit einem anderen Teilchen wechselwirken. Das IceCube-Team wartet seit vielen Jahren geduldig auf diese Ereignisse. Kommt es zu einer Wechselwirkung eines Neutrinos im Eis, kann dabei ein neues Teilchen entstehen, Myon genannt. Auf seinem Weg durch das Eis zieht das Myon ein schwaches bläuliches Licht hinter sich her, und genau das können die lichtempfindlichen IceCube-Detektoren messen.

„Genau genommen sehen wir eine solche Lichtspur mehrere tausendmal pro Sekunde“, sagt Prof. Dr. Anna Frankowiak, Leiterin der Arbeitsgruppe für Multi-Wellenlängen- und Multi-Messenger-Astronomie und Mitglied des in Bochum koordinierten Sonderforschungsbereichs „Cosmic Interacting Matter“. „Die meisten Teilchen, die wir auf diese Art aufspüren, entstehen allerdings in unserer eigenen Atmosphäre und sind nicht die, nach denen wir suchen“, so die Physikerin weiter. Im Gegenteil. Diese Teilchen, die vor der eigenen Haustür entstehen, erschweren den Forschenden ▶



” EINE SUPERNOVA IN UNSERER
EIGENEN MILCHSTRASSE – ES WÄRE
TOLL, WENN ICH DAS ERLEBEN
DÜRFTE. “

Anna Franckowiak

Aufnahme: IceCube Collaboration/U.S. National Science Foundation (Lily Le & Shawn Johnson)/ESO (S. Brunier)

den die Suche nach den Boten von den fernen Quellen der kosmischen Strahlung. Sie müssen aus den Messergebnissen herausgefiltert werden.

Das IceCube-Team sucht nach Neutrinos mit hohen Energien, die mit großer Wahrscheinlichkeit nicht aus der Erdatmosphäre, sondern aus dem All kommen. Registrieren die Forschenden eine Lichtspur im Eis, berechnen sie drei Dinge: die Energie des Teilchens, das die Wechselwirkung verursacht hat; die Richtung, aus der es gekommen ist; und die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um ein Neutrino aus dem All handelt. Den Algorithmus dafür hat Anna Franckowiaks Team in den vergangenen Jahren immer besser gemacht – und immer schneller.

„Wir brauchen 30 Sekunden, um die Energie und Richtung eines Neutrinos zu berechnen“, erklärt sie. „Dann verbreiten wir die Informationen umgehend weltweit.“ Über spezielle Apps wie „Astro-COLIBRI“ – entwickelt von der Ruhr-Universität in Kooperation mit der Université Paris-Saclay – können Interessierte sich informieren lassen, dass ein Neutrino-Ereignis detektiert wurde, und ihr Teleskop in die entsprechende Richtung schwenken. Weil das Signal, das Franckowiaks Team verschickt, maschinenlesbar ist, können geeignete Teleskope sogar automatisch ausgerichtet werden, wenn das IceCube-Team Alarm schlägt. Mit ihnen durchforsten die Forschenden die Himmelsregion, aus der das Neutrino kam, dann nach einem besonders energiereichen Objekt, das der Absender des Teilchens gewesen sein könnte.

„Es ist möglich, dass diese Himmelsobjekte nur kurz aufleuchten, daher ist es so wichtig, dass unser System in Echtzeit funktioniert“, bekräftigt Anna Franckowiak. Beispielsweise könnten Supernovae – explodierende Sterne mit großer Masse – eine Quelle der kosmischen Strahlung sein.

So energiereich ein solches Ereignis ist, so schnell ist es aber auch wieder vorbei.

Neutrino-Richtungen präzise bestimmen

Neben ihrem besonders schnellen Algorithmus haben die Bochumer Forschenden allerdings noch eine zweite Berechnungsmethode: Sie ist etwa ein bis zwei Stunden langsamer, dafür aber im Vergleich zu früheren Verfahren um den Faktor vier bis fünf genauer. Die Richtungsbestimmung erfolgt damit in einem zweiten Schritt. „Wenn wir die präziseren Daten vorliegen haben, schicken wir ein Update zu unserer ursprünglichen Neutrino-Meldung raus“, erläutert Angela Zegarelli, Postdoktorin an Franckowiaks Lehrstuhl und Leiterin der Rekonstruktions-Arbeitsgruppe in IceCube.

Ist eine potenzielle Quelle für das Neutrino gefunden, geht die Rechnerei wieder los. „Dann ermitteln wir, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass wir – wenn wir in diese Richtung des Himmels schauen – zufällig ein solches Himmelsobjekt aufleuchten sehen, das nichts mit dem Neutrino zu tun hat.“ Der Wert gibt also an, wie wahrscheinlich es ist, dass das Neutrino wirklich von dem Objekt stammt, das mit den Teleskopen erspäht wurde.

Dabei haben die Astrophysikerinnen und -physiker strenge Grenzwerte. Sie sprechen erst dann davon, eine Quelle der kosmischen Strahlung entdeckt zu haben, wenn die Wahr- ▶

Diese Illustration zeigt, wie es im Inneren des IceCube-Detektors aussieht: 5.160 Sensoren, „digital optical modules“ genannt, fangen die Lichtsignale der Myonen auf.

(Bild: Jamie Yang, IceCube Collaboration)

An der Ruhr-Universität Bochum ist noch eine zweite Arbeitsgruppe mit dem IceCube-Projekt befasst. Prof. Dr. Julia Tjus, Leiterin des Lehrstuhls für Theoretische Physik IV und Sprecherin des Sonderforschungsbereichs „Cosmic Interacting Matter“, ist seit Anbeginn des Projekts Teil des IceCube-Konsortiums. Mit ihrem Team modelliert sie die Prozesse im Inneren der potenziellen Neutrino-Quellen, etwa wie Magnetfelder genutzt werden können, Teilchen zu beschleunigen, und wie diese dann wechselwirken, um Neutrinos zu erzeugen. Diese Informationen werden benötigt, um zu rekonstruieren, welche Quellen besonders viele Neutrinos hervorbringen. Mit der Kombination von Theorie und Datenanalyse hilft das Team von Julia Tjus zudem, die schwachen Signale, die IceCube von galaktischen und extragalaktischen Neutrinos auffängt, besser aus dem Hintergrundrauschen der Neutrinos aus der Erdatmosphäre herausfiltern zu können.

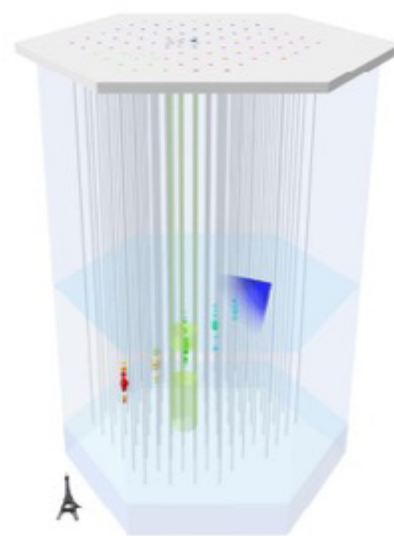
Die Forschenden können so vorhersagen, welche Klassen von Himmelsobjekten überhaupt als Quellen infrage kommen. Dazu nutzen sie das Stacking: „Dabei stapeln wir sozusagen die Signale von mehreren Quellen übereinander und können so Signale gemeinsam sichtbar machen, die einzeln zu schwach wären“, erklärt Julia Tjus. Das Stacking gibt Hinweise, dass aktive Galaxienkerne wie in der Galaxie NGC 1068 Neutrinos entsenden können.

WAS IM INNEREN DER NEUTRINO-QUELLEN VOR SICH GEHT

Aber auch Überraschungen fördern die Analysen manchmal zutage: Eine spezielle Klasse der aktiven Galaxienkerne, die sogenannten Blazare mit Gammastrahlung, senden weniger Neutrinos aus, als nach der Standardtheorie zu erwarten wäre, wonach Neutrinos immer gemeinsam mit Gammastrahlung entstehen. Die größte Überraschung erlebte das IceCube-Team aber 2023, als es dank spezieller Machine-Learning-Algorithmen der Technischen Universität Dortmund gelang, das Neutrino-Signal der eigenen Milchstraße sichtbar zu machen. Das Bild dazu ist links zu sehen.

Aktuell kombinieren die Teams in Bochum und Dortmund zusammen mit dem Lamarr-Institut die entwickelten Theorien mit Maschinellern Lernen, um herauszufinden, wann genau Blazare Neutrinos emittieren. Sie wollen verstehen, wann diese Himmelsobjekte Teilchen beschleunigen und bis zu welchen Energien – um die IceCube-Signale noch besser als bislang deuten zu können.

Die „digital optical modules“, kurz DOMs, also die einzelnen Detektoreinheiten von IceCube, sind in 86 Strängen angeordnet. An jedem Strang (grau) sind viele DOMs untereinander angebracht. Wechselwirkt ein Neutrino im Eis, entsteht ein Myon, das einen blauen Lichtkegel hinter sich herzieht, der von DOMs verschiedener Stränge registriert wird (bunte Kugeln). Rot repräsentiert eine frühe Ankunftszeit, blau eine späte. Die Größe der farbigen Kugeln stellt die Intensität des detektierten Lichts dar. (Grafik: IceCube Collaboration)



DER HIMMEL UNTER DAUERBEOBACHTUNG

Neutrino-Quellen aufzuspüren, wäre viel leichter, wenn man den gesamten Himmel immer beobachten könnte. Dann würde einem keine Supernova und kein Materiejetspuckender Galaxienkern mehr entgehen, der potenziell eine Quelle sein könnte. Das geht zwar nicht ganz, aber mit neu anlaufenden Himmelsdurchmusterungs-Projekten kommt man schon nah dran.

Der 2025 angelaufene La Silla Schmidt Southern Survey, kurz LS4, beispielsweise nimmt jede Nacht aus der chilenischen Atacama-Wüste 500 Bilder auf. Auf jedem davon sind tausende Galaxien zu sehen. In wenigen Tagen kann so der gesamte Südhimmel kartiert werden. „Mit LS4 nehmen wir den Südhimmel also immer und immer wieder auf, sodass wir auch Himmelsobjekte sehen können, die nur kurz aufleuchten – etwa Supernovae oder Gezeitenkatastrophen“, sagt Prof. Dr. Anna Franckowiak, die an dem Projekt beteiligt ist. Beide Phänomene gelten als aussichtsreiche Kandidaten für die Quellen der mysteriösen kosmischen Strahlung, denen Forschende mithilfe des IceCube-Neutrino-Detektors auf der Spur sind. „Der Nachweis, dass zumindest ein Teil der von IceCube gemessenen hochenergetischen Neutrinos aus Supernovae stammt, wäre ein Durchbruch in der Neutrino-Astronomie“, ordnet Franckowiak ein.

Da LS4 besonders empfindlich für rötliches Licht ist und somit gut kühlere Objekte aufspüren kann, ergänzt es andere Himmelsdurchmusterungen wie den Legacy Survey of Space and Time, an dem der Bochumer Kosmologe Prof. Dr. Hendrik Hildebrandt beteiligt ist. Für dieses Projekt im Einsatz ist das Vera-Rubin-Observatorium auf einem Hochplateau in Chile, dessen erste Bilder im Juni 2025 veröffentlicht wurden (siehe Seite 8).

„Solche Surveys geben uns in Zukunft die Chance, auch nachträglich nach den Quellen eines Neutrinos zu suchen, weil wir dann im Archiv schauen können, was in der Richtung des gemessenen Neutrinos am Himmel zu sehen war und wie sich diese potenzielle Quelle über die Tage verändert hat“, resümiert Anna Franckowiak. Und noch einen Vorteil bringt die Zusammenarbeit mit dem Vera-Rubin-Observatorium: Für besonders spannende Neutrino-Funde würde es sogar seine Himmelsdurchmusterung unterbrechen, um bei der Suche nach dem Ursprung der Geisterteilchen zu helfen.

Die Bochumer Forschenden Anna Franckowiak, Nora Valtonen-Mattila, Giacomo Sommani und Angela Zegarelli (von links) sind Mitglieder im IceCube-Projekt. (Foto: RUB, Marquard)





Die Galaxie NGC 7469 könnte eine Quelle der kosmischen Strahlung sein, genauer gesagt das Schwarze Loch in ihrem Zentrum, der sogenannte aktive Galaxienkern. Das Objekt ist 220 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt. IceCube detektierte 2022 und 2023 zwei hochenergetische Neutrinos, deren Ursprung NGC 7469 gewesen sein könnte. (Bild: ESA/Webb, NASA & CSA, L. Armus, A. S. Evans)

scheinlichkeit bei 1:1,7 Millionen liegt. Das heißt: Würden sie 1,7 Millionen-mal den Himmel beobachten, würden sie nur ein einziges Mal eine potenzielle Neutrino-Quelle finden, die aber in der Realität gar nichts mit dem gemessenen Neutrino zu tun hat. Die Wahrscheinlichkeit 1:1,7 Millionen drückt das Team in Fachsprache als 5 Sigma aus.

Bislang hat IceCube keine Neutrino-Quelle mit diesem Signifikanzwert aufgespürt, aber ein paar Mal war das Team nah dran. 2017 entdeckte das Forschungskonsortium ein Neutrino, das mit einer Wahrscheinlichkeit von 3 Sigma – oder 1:1.000 – von einem sogenannten Blazar stammte. Das ist eine Galaxie mit einem aktiven Schwarzen Loch im Zentrum, das Materie schluckt, von der ein Teil als Jet in Richtung Erde wieder ausgestoßen wird.

2022 und 2023 rückte IceCube noch näher an die magische Signifikanzschwelle heran: Giacomo Sommani, Doktorand in Franckowiaks Arbeitsgruppe, spürte zwei Neutrinos auf, die ebenfalls von einem aktiven Galaxienkern auszugehen schienen. Anders als im oben beschriebenen Fall handelte es sich dabei aber nicht um einen Blazar, sondern um ein Schwarzes Loch ohne Materiejets in der Galaxie NGC 7469. Die Wahrscheinlichkeit: 3,2 Sigma. 2023 detektierte IceCube zudem 80 Neutrinos mit etwas niedrigeren Energien, die das Team in Zusammenhang mit dem aktiven Galaxienkern von NGC 1068 brachte – mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,2 Sigma. „Das ist nah dran, aber wir wollen 5“, unterstreicht Franckowiak.

Supernovae und Gezeitenkatastrophen

Das IceCube-Team sucht daher weiter. Aber nicht nur nach Galaxien, sondern auch nach kleineren potenziellen Quellen. „Zwischenzeitlich hatten wir sogenannte Gezeitenkatastrophen als Quellen in Betracht gezogen“, erzählt Anna Franckowiak. „Sie entstehen, wenn ein Stern zu nah an ein inaktives Schwarzes Loch gerät, das zwar gerade keine Materie schluckt, den Stern aber mit seiner großen Gravitation in die Länge zieht und zerreißt. An der Seite, die dem Schwarzen Loch zugewandt ist, wird stärker an dem Stern gezogen als an der Rückseite.“

Drei Neutrino-Ereignisse hatte IceCube im Lauf der Jahre entdeckt, die potenziell mit Gezeitenkatastrophen in Zusammenhang gebracht wurden. Aber Fehlalarm: „Nachdem wir unseren Algorithmus für die Richtungsrekonstruktion verbessert hatten, haben wir die Ereignisse noch einmal analysiert – und die Flugbahn der Neutrinos passt nicht zu den Positionen, an denen die Gezeitenkatastrophen stattgefunden haben“, so die Bochumer Physikerin.

Neben den Gezeitenkatastrophen zieht das IceCube-Team noch ein anderes Phänomen als Quelle der kosmischen Strahlung in Betracht: Supernovae, also gewaltige Explosionen, wie sie am Lebensende von Sternen auftreten, deren Masse zehnmal größer als die der Sonne ist. Dass bei Supernovae Neutrinos mit niedrigen Energien entstehen, ist bekannt. Potenziell

könnten diese Extrem-Ereignisse aber auch hochenergetische Neutrinos hervorbringen, die die Weiten des Alls durchqueren können. Nachweisen konnte das noch niemand, aber das IceCube-Team hat erste Hinweise gefunden. Eine Supernova konnte mit einer Wahrscheinlichkeit von 3 Sigma einem hochenergetischen Neutrino zugeordnet werden, das der Detektor registriert hatte.

Insgeheim wartet Anna Franckowiak aber noch auf etwas anderes: ein Ereignis direkt vor der Haustür, eine Supernova in unserer eigenen Milchstraße. „Diese könnten wir auch dann mit IceCube aufspüren, wenn die Neutrinos nicht die höchsten Energien erreichen“, erklärt Nora Valtonen-Mattila, Postdoktorin an Franckowiaks Lehrstuhl und Leiterin der „Low-Energy“-Arbeitsgruppe in IceCube. „Denn dann würden so viele Neutrinos aus dieser Richtung kommen, dass es nicht nur eine Lichtspur geben würde; unser ganzer Detektor würde auf einmal hell werden. Das wäre eine Sensation.“ Eine Sensation, die allerdings nur ein- bis dreimal pro Jahrhundert in der Milchstraße vorkommt. „Es wäre toll, wenn ich das erleben dürfte“, träumt Franckowiak.

Weil sich das IceCube-Team darauf nicht verlassen kann, arbeitet es unaufhörlich daran, die Detektionsmethoden zu verbessern. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler optimieren die Algorithmen zur Richtungsbestimmung der Neutrinos weiter. Immer bessere Teleskope steigern die Chancen, die potenziellen Quellen zu finden. Und nicht zuletzt bekommt IceCube zeitnah ein Upgrade mit neuen Detektorsträngen im Zentrum, sodass ihm auch Neutrinos mit etwas niedrigeren Energien in die Fänge gehen können. Wäre doch gelacht, wenn nicht irgendwann ein Geisterteilchen dabei wäre, das seine Herkunft zweifelsfrei verrät.

jwe

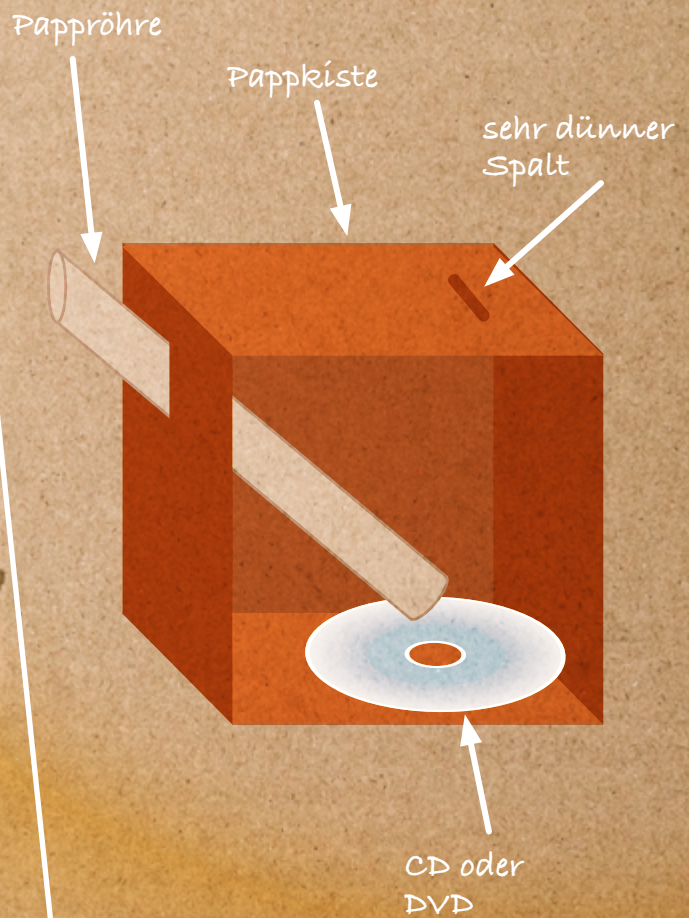
REDAKTIONS- SCHLUSS

Was steckt im Licht der Lampe? Wer das genauer wissen will, kann sich einfach einen Spektrografen selber basteln. Man nehme einen Schuhkarton, eine Papprolle – zum Beispiel vom Küchenpapier – und eine CD sowie Klebeband. Auf dem Boden des Schuhkartons wird die CD festgeklebt. Genau darüber schneidet man einen sehr dünnen Schlitz in die Pappe. Da hindurch soll das Licht später einfallen. Durch ein Loch an der Seite des Kartons steckt man die Papprolle mit Fokus auf die CD.

Wenn nun zum Beispiel von einer Lampe Licht durch den Schlitz fällt, trennt die Oberfläche der CD dank ihrer verschiedenen Spuren die Wellenlängen auf, ähnlich wie ein Prisma oder wie bei einem Regenbogen. Durch die Papprolle kann man das Spektrum der Lampe sehen.

Damit wir künstliches Licht als angenehm empfinden, sollte es möglichst ähnlich zum Tageslicht sein, also ein kontinuierliches Spektrum haben. Je nach Quelle zerfällt das Licht jedoch in mehr oder weniger breite Streifen mit schwarzen Bereichen dazwischen. Bei LED-Lampen kann man mehr rote Bereiche erkennen je wärmer das abgestrahlte Licht ist. Kühlere LEDs haben einen höheren Blauanteil.

Viel Spaß beim Basteln!



Experiment: Lehrstuhl Experimentalphysik II

IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Birgit Aitzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Christoph Bühren (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Elena Enax-Krumova (Medizin), Prof. Dr. Anna Franckowiak (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Constantin Goschler (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Kristina Liefke (Philosophie und Erziehungswissenschaft) Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Ines Mulder (Geowissenschaft), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md); Dr. Lisa Bischoff (lb); Raffaella Römer (rr)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176 / 29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de; Tim Kramer (tk), Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum

COVER: RUB, Tim Kramer

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfoto für Seite 26: Damian Gorczany; Seite 34: RUB, Katja Marquard; Seite 46: DBM, Katrin Westner; Seite 60: Nicolle R. Fuller/NSF/IceCube

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ:

Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation. Bei der Bearbeitung einzelner Motive kam generative KI (Adobe Firefly) zum Einsatz.

DRUCK: LUC GmbH, Ludgeristraße 13, 59379 Selm, luc-medienhaus.de, kontakt@luc-medienhaus.de

ANZEIGEN: Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

AUFLAGE: 3.900

BEZUG: Rubin erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 1. Juni 2026.