

SUPERNOVAE

Der Standard wird zur Ausnahme

Tod eines Sterns

Auf Spurensuche im All

Neue Phänomene

Herausforderung für Theoretiker

Beobachtungen

Zoo der Sternexplosionen



Andreas Müller

Chefredakteur von »Sterne und Weltraum«
E-Mail: andreas.mueller@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,

nichts ist für die Ewigkeit – nicht einmal das Licht der Sterne. Ihre Masse ist entscheidend dafür, welches Schicksal sie ereilt. Die massereichsten Gaskugeln beenden ihr Leben mit einem fulminanten Feuerwerk: einer Supernova-Explosion.

Inzwischen beobachten Astronomen eine beeindruckende Vielfalt von Explosionstypen. Auch massearme Überbleibsel sonnenartiger Sterne, die Weißen Zwerge, können explodieren. Kosmologen benutzen sie, um Alter, Größe und Energieinhalt des Universums zu bestimmen.

In diesem »Spektrum Kompakt« stellen wir für Sie aktuelle Ergebnisse der Supernova-Forschung zusammen, einem spannenden Gebiet, das noch einige Rätsel für uns bereithält.

Ein explosives Leseerlebnis wünscht

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 11.05.2020

CHEFREDAKTEUR: Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

REDAKTIONSLEITERIN: Alina Schadwinkel

ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove

LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle

SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.),

Sigrid Spies, Katharina Werle

BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL: Antje Findeklee,

Dr. Michaela Maya-Mrschtik

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,

Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,

Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,

UStd-Id-Nr. DE229038528

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle

MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.),

Michaela Knappe (Digital)

LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,

Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an anzeigen@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2020 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

Folgen Sie uns:



SEITE
04

STELLARPHYSIK
Eine neue Sicht auf Supernovae

SOUBRETTE / GETTY IMAGES / ISTOCK

SEITE
16

NEUE PHÄNOMENE
Herausforderung
für Theoretiker

PITRIS / GETTY IMAGES / ISTOCK

RÄTSELHAFTE BEOBACHTUNG
Das Geheimnis besonders
starker Supernovae

SEITE
33

PIXELPARTICLE / GETTY IMAGES / ISTOCK

STELLARE FORENSIK
Kann man den Tod
eines Sterns vorhersagen?

SEITE
46

ARVOS / GETTY IMAGES / ISTOCK

- 04 STELLARPHYSIK
Eine neue Sicht auf Supernovae
- 16 NEUE PHÄNOMENE
Herausforderung für Theoretiker
- 30 DIE SUPERSUPERNOVA SN 2006GY
Gewaltiges Leuchtfeuer
- 33 RÄTSELHAFTE BEOBACHTUNG
Das Geheimnis besonders
starker Supernovae
- 40 TYP-IA-EXPLOSIONEN
Was explodiert da eigentlich?
- 46 STELLARE FORENSIK
Kann man den Tod eines
Sterns vorhersagen?
- 54 SIMULATION
Quarkmaterie lässt Supernova
explodieren
- 58 AUF ABWEGEN
Sonderbare Hyperschnellläufer
- 64 ASTROPHYSIK
Legendäre Sternleiche aufgespürt?
- 66 STERNBILD ORION
Beteigeuze wird wieder heller

STELLARPHYSIK

EINE NEUE SICHT AUF SUPERNOVAE

von Wolfgang Hillebrandt und Andreas Müller

Wenn ein Stern explodiert, überstrahlt die extreme Helligkeit manchmal seine Heimatgalaxie. Nachdem anfangs zwei Supernova-Typen ausreichten, um die Sternexplosionen zu klassifizieren, sehen sich die Beobachter inzwischen mit einer fast unüberschaubaren Vielfalt konfrontiert. In diesem ersten Teil der Artikelreihe präsentieren wir vor allem die Messdaten beobachteter Supernovae.

SUPERNOVA SN2011FE IN IHRER GALAXIE | Eine Supernova überstrahlt für eine lange Zeit die Galaxie, in der sie sich ereignet. Hier ist die Explosion namens SN 2011fe zu sehen (Pfeil), die im Jahr 2011 in der Spiralgalaxie Messier 101 stattfand.

SN 2011fe

Sternexplosionen wurden schon vor Jahrtausenden beobachtet, jedoch rätselte die Menschheit lange über die Ursache für diese Himmelsphänomene. Erst seit 135 Jahren wissen wir, dass es sich nicht etwa um die aufflammende Geburt eines neuen Gestirns handelt – ganz im Gegenteil: Bei dieser Explosion beendet ein Stern seine Existenz auf besonders spektakuläre Weise.

Am 20. August 1885 entdeckte Ernst Hartwig ein solches Himmelsereignis in der Andromedagalaxie (Messier 31, kurz M 31). Er war zwar wahrscheinlich nicht der erste Mensch, der diesen Helligkeitsausbruch sah, aber er kommunizierte die Erscheinung in einem Telegramm am 31. August, nachdem er sicher war, dass es sich dabei nicht um reflektiertes Mondlicht handelte. Daher wird die erste extragalaktische Sternexplosion namens

Wolfgang Hillebrandt ist emeritierter Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching und Professor für Astrophysik an der TU München. Er erforscht die Physik der Sterne. **Andreas Müller** ist Astrophysiker, Buchautor und seit April 2019 Chefredakteur von »Sterne und Weltraum«. Seine Forschungsarbeiten behandelten Schwarze Löcher und Kosmologie.

S Andromeda ihm zugeschrieben. Die Erkenntnis, dass es sich dabei um etwas ganz Besonderes handelte, verdanken wir dann allerdings erst Knut Lundmark. Im Jahr 1919 schätzte er die Entfernung von M 31 zu 700 000 Lichtjahren ab; etwa viermal näher, als die Andromedagalaxie tatsächlich entfernt ist, wie wir heute wissen. Trotz dieses Fehlers war klar, dass S Andromeda mehr als 1000-mal heller gewesen sein musste als eine normale Nova.

Geburt des Begriffs »Supernova«

Etwa zur gleichen Zeit, im Jahr 1921, entdeckte der Astrophysiker Fritz Zwicky seine erste Sternexplosion in der Spiralgalaxie NGC 3184 im Großen Bären. Diese Explosion mit der Bezeichnung SN 1921B ist ungefähr 30 Millionen Lichtjahre von uns entfernt. Es war bis dahin bereits die 16. extragalaktische Sternexplosion, die von Astronomen auf der Erde registriert worden war. Gemeinsam mit Walter Baade prägte Zwicky den Namen »Supernova« (SN) für diese extremen Helligkeitsausbrüche. Außerdem lieferte er gleich eine mögliche Ursache: Bei einer Supernova geht ein normaler Stern in ei-

AUF EINEN BLICK

In Kürze

01 Astronomen beobachten das Ende von Sternen in Sternexplosionen. Diese Supernovae sind sehr unterschiedlich.

02 Zwar gelingt es, die Explosionen in einige Grundtypen zu klassifizieren, doch die immer genaueren Beobachtungen offenbaren neue Formen.

03 In zwei Teilen fassen wir den aktuellen Stand der Supernova-Forschung zusammen und stellen die Modelle aus der Theorie vor.

1960 argumentierten sie, dass thermonukleare Fusionsreaktionen im dichten Kern eines hochentwickelten Sterns diesen unter Umständen zerreißen. Auch dieser Ansatz konnte erklären, warum Supernovae so hell sind, jedoch stammt die Energie diesmal aus der Umwandlung von Atomkernen und nicht aus der Gravitation. Da das Innere solcher Sterne überwiegend aus Kohlenstoff und Sauerstoff besteht, endet die Kernfusion beim am stärksten gebundenen Atomkern, der eine gleiche Anzahl von Neutronen und Protonen besitzt: dem radioaktiven Kern Nickel-56 mit jeweils 28 Protonen und Neutronen. Die Energie aus dem radioaktiven Zerfall von Nickel über Kobalt zu Eisen kann die Supernova für mehrere Monate zum Leuchten bringen. Ausgelöst wird die Explosion – so war die Idee –, wenn der Sternkern, ein Weißer Zwerg, durch Massezustrom von einem Begleitstern sich der kritischen Chandrasekhar-Grenze nähert. Der Sternkern wird dann instabil, kontrahiert, und in seinem Inneren zündet die Kernfusion.

Heute glauben wir sicher zu sein, dass in der Natur beide Explosionsmechanismen vorkommen: Aus der Sicht eines the-

oretischen Astrophysikers ergibt es Sinn, von Kernkollaps-Supernovae zu sprechen, die gravitative Bindungsenergie freisetzen und von thermonuklearen Supernovae, die durch frei werdende Kernenergie gespeist werden. Demgegenüber steht die Beobachterklassifikation in die Typen I und II: Für alle Supernovae vom Typ II ist der Kollaps eines massereichen Sterns zu einem Neutronenstern oder zu einem Schwarzen Loch der Auslöser, und wahrscheinlich gilt dies auch für die weiter unten beschriebenen Supernovae vom Typ Ib und Ic. Als Beweis gilt der experimentelle Nachweis von Neutrinos, die im Jahr 1987 von der Supernova 1987A in der Großen Magellanschen Wolke ausgesandt und in verschiedenen Laboratorien auf der Erde aufgefangen wurden.

Im Gegensatz dazu sind Supernovae vom Typ Ia sehr wahrscheinlich das Ergebnis thermonuklearer Explosionen weißer Zwergsterne. Dafür spricht die sehr gute Übereinstimmung der aus Modellen berechneten Spektren und Lichtkurven mit den Beobachtungen. Außerdem lässt sich für einige der historischen Supernovae ausschließen, dass sich im Zentrum der Explosionswolke ein Neut-

ronenstern befindet – auch das ist ein Hinweis auf eine thermonukleare Explosion, die den Stern komplett zerreißt und nichts übrig lässt.

Obwohl Beobachtungen die genannten Szenarien stützen, bleibt das Modellieren der Explosionen eine große Herausforderung. Erst die neuesten Simulationen an der Grenze des Machbaren entsprechen mehr und mehr der Wirklichkeit. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die vielen, dank großer Suchprogramme entdeckten Supernovae zunehmend einer einfachen Klassifizierung entziehen. Oft wissen wir nicht einmal, ob es sich bei den Ausbrüchen wirklich um Supernovae in Sinne Zwickys handelt.

Explosionen aus Beobachtersicht

Bis etwa Mitte der 1980er Jahre war die Welt der Supernovae noch in Ordnung. Allerdings fanden die Himmelsbeobachter bei Explosionen vom Typ II, die starke Wasserstofflinien in ihren Spektren zeigen, durchaus Unterschiede in ihren Helligkeitsverläufen. Die Forscher benutzten hierbei Lichtkurven, bei denen sie die Helligkeit der Supernova über der Zeit darstellten. Einige Supernovae zeigten