

KRIEG

DER

STERNE

KRIEG DER STERNE

GALAKTISCHER KANNIBALISMUS

EVA GREBEL

Galaxien und Kannibalismus? Das klingt befremdlich. Dennoch zeigen Galaxien kannibalistisches Verhalten – nach heutigem Wissen handelt es sich dabei sogar um die übliche Methode, mit der Sternsysteme wachsen.

G

Galaxien sind von der Schwerkraft zusammengehaltene Ansammlungen von Sternen, Planeten, Gas, Staub und Dunkler Materie. Im Universum finden sich Galaxien verschiedenster Massen, Helligkeiten und Erscheinungsformen. Sie begeistern uns mit ihrer Schönheit, und wir assoziieren mit ihnen majestätische, seit Jahrmilliarden existierende Gebilde, die sich während der Zeitspanne eines menschlichen Lebens oder gar kompletter Zivilisationen nicht nennenswert verändern.

Was also sollten Galaxien mit Kannibalismus zu tun haben? Dem Wort nach bedeutet „galaktischer Kannibalismus“, dass eine Galaxie eine andere verschlingt. Und genau das ist es, was Astronomen beobachten: Wenn sich Galaxien nah genug kommen, können sie miteinander verschmelzen. Drastischer ausgedrückt: Die eine Galaxie frisst die andere auf. Das Produkt des Kannibalismus ist eine Galaxie, die aus dem Material der beiden beteiligten Galaxien besteht und entsprechend massereicher ist.

Intergalaktische Anziehungskraft

Galaxien sind keine soliden Festkörper. Sie bestehen aus vielen Bausteinen, die sich im Schwerfeld der Galaxie bewegen. Eine Spiral- oder Scheibengalaxie wie unsere Milchstraße beispielsweise enthält etwa hundert Milliarden Sterne. Vereinfacht lässt sich eine solche Spiralgalaxie als flache, zentral verdickte Scheibe beschreiben. Innerhalb der Scheibenebene bewegen sich die Sterne um das Zentrum der Galaxie auf annähernd kreisförmigen, konzentrischen Bahnen. Wenn sich nun zwei Galaxien einander nähern, bewirkt ihre gegenseitige Anziehungskraft, dass ihre Bausteine – zum Beispiel die Sterne auf den geordneten Kreisbahnen – abgelenkt, ihre Umlaufbahnen also gestört werden. Die Sterne enden dann auf sehr viel elliptischeren Bahnen. Auf denen sind sie gelegentlich relativ nahe und zu anderen Zeiten deutlich weiter vom galaktischen Zentrum entfernt. Ihre Bahnen liegen folglich auch nicht mehr genau in der Scheibenebene, sondern können gegenüber dieser Ebene stark geneigt sein. Je nach Stärke der Wechselwirkung ändert sich nun das Erscheinungsbild der Galaxie: Die ehemals flachen Scheiben erscheinen verbogen oder verdickt. Durch die Wechselwirkung kann zudem Materie aus den Galaxien herausgerissen werden,

was sich in Form ausgedehnter Stern- oder Gasströme beobachten lässt, die die Galaxien umgeben.

Die Stärke der Wechselwirkung – und damit das Ausmaß der Störung – ist von der Masse der Galaxien, ihrer Geschwindigkeit relativ zueinander und ihrer minimalen Entfernung während der Begegnung abhängig. Einen Teil der Energie ihrer Vorwärtsbewegung übertragen Galaxien auf die Sterne der anderen Galaxie, wodurch sie selbst abgebremst werden. Ist die Abbremsung stark genug, kann es nach einigen nahen Vorbeigängen schließlich zum Verschmelzen kommen.

Wenn kleine Galaxien mit großen, massereichen Galaxien verschmelzen, bleiben die großen Galaxien nahezu unbeeinträchtigt – ähnlich einem unglückseligen Insekt, das auf die Windschutzscheibe eines fahrenden Autos prallt und dort allenfalls einen Fleck hinterlässt. Verschmelzen hingegen zwei ähnlich massereiche Galaxien miteinander, kann sich ihre Struktur deutlich ändern. Wenn die beiden Galaxien beispielsweise reich an Gas sind und ihre Gaswolken zusammenstoßen, kann es zu intensiver Sternentstehung kommen. Wenn es sich um zwei Spiralgalaxien handelt, die miteinander verschmelzen, können die Scheiben zerstört werden. Dann bewegen sich die Sterne auf elliptischen Bahnen, die beliebige Orientierungen aufweisen. Das Ergebnis ist eine einzige elliptische Galaxie, die im Gegensatz zu einer Spiralgalaxie keine geordnete Rotation mehr aufweist.

Die Wechselwirkungen, die Galaxien verschmelzen lassen, können Milliarden Jahre dauern. Unmittelbar verfolgen lässt sich der Prozess nicht. Die unterschiedlichen Stadien des galaktischen Kannibalismus indes können wir im Weltall sehr wohl beobachten: Wir blicken gleichsam auf Schnappschüsse von Galaxien, die sich in verschiedenen Phasen einer Verschmelzung befinden. Sind die beteiligten Galaxien relativ massereich, sehen wir oft spektakuläre Bilder mit stark verformten Galaxien, umgeben von gewaltigen Strömen herausgerissenen Materials.

Derartige Beobachtungen sind nicht nur wichtig, um zu verstehen, wie Galaxien miteinander wechselwirken und wie es zu Verschmelzungen kommt. Sie sind ebenso unerlässlich, um die grundlegende Frage nach der Entwicklung von Galaxien zu beantworten. Diese Frage ist ein Schwerpunkt der Forschung im Astronomischen Rechen-Institut, eines von drei Instituten des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg.

Kosmologische Simulationen

Theoretische Modelle können simulieren, wie sich große Materiekonzentrationen wie Galaxien durch das allmähliche Verschmelzen zahlloser kleiner Strukturen aus Dunkler und sichtbarer Materie bilden. Im frühen Universum ist

die Materie noch recht gleichförmig verteilt und weist nur geringe Dichteschwankungen auf. Unter dem Einfluss der Schwerkraft erwachsen aus diesen kleinen Dichteschwankungen durch Verschmelzungsprozesse immer größere Strukturen. Dieses Wachstum geschieht auf Kosten der Umgebung: Kleinere, weniger massereiche Materieanhäufungen werden von den größeren angezogen. Das Universum wird also zunehmend strukturiert: Es entstehen gewaltige Materiekonzentrationen – massereiche Galaxien und Haufen von Galaxien – und dazwischen ausgedehnte Leerräume. Zusätzlich prägen Sternentwicklungsprozesse und die mögliche Aktivität zentraler Schwarzer Löcher die Eigenschaften der Galaxien.

Die heutigen kosmologischen Modelle können die beobachtete großräumige Verteilung der Materie im Universum sehr gut reproduzieren. Auf kleineren Skalen, etwa im Größenbereich von Galaxien, sind jedoch viele Details noch unverstanden. Um mehr über die Entwicklung der Galaxien zu erfahren, stehen Theoretiker und Beobachter in stetem Austausch: Die Beobachter versuchen, theoretische Vorhersagen im realen Universum zu verifizieren, was es wiederum erforderlich machen kann, die Modelle an die Beobachtungen anzupassen. Dieses Wechselspiel von theoretischer Vorhersage und realer, mit immer leistungsfähigeren Instrumenten erfolgreicher Beobachtung verbessert und erweitert unser physikalisch-astronomisches Weltbild stetig.

Galaktische Archäologie

In Heidelberg untersuchen wir, wie Galaxien entstehen, wie sie sich entwickeln und welche Rolle der galaktische Kannibalismus dabei spielt. Vor allem folgende Details interessieren uns: Wie viele Sterne einer Galaxie sind in der Galaxie selbst entstanden? Wie viele Sterne einer Galaxie stammen von anderen, mit ihr in der Vergangenheit verschmolzenen Galaxien? Wann haben die Verschmelzungen stattgefunden, und welche Galaxien waren beteiligt? Nahe Galaxien und unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, sind für diese Forschungsfragen besonders gut geeignet, da wir hier sogar einzelne Sterne sehr genau untersuchen können.

Je nach Masse können Sterne viele Milliarden Jahre alt werden. Wir nutzen unterschiedlich alte Sterne gleichsam als Fossilien. Für diese „galaktische Archäologie“ macht man es sich zunutze, dass Sterne, die einst gemeinsam entstanden sind, gleich alt und chemisch ähnlich zusammengesetzt sind. Falls sie in vergangenen Epochen nicht allzu stark gestört wurden, haben sie auch ähnliche Bewegungsrichtungen.

Ergänzend kann man ferne Galaxien untersuchen. Aufgrund der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts ist jede astronomische Beobachtung ein Blick in die Vergangenheit. Je weiter ein Objekt von uns entfernt

„Manche
Galaxien zeigen
die Spuren
einer sehr
gewalttätigen
Vergangenheit.“

ist, desto länger braucht sein Licht, um uns zu erreichen. Wir sehen das Objekt also in einem Zustand, den es je nach Distanz vor einigen Millionen oder Milliarden Jahren hatte. Auf diese Weise lassen sich noch wenig entwickelte Galaxien im jungen Universum beobachten. Sehr ferne junge Galaxien zeigen vielfach eine sehr intensive Sternentstehung und irreguläre, klumpige Strukturen, die kaum etwas mit dem Erscheinungsbild der Galaxien im heutigen Universum gemeinsam haben.

Diese Untersuchungen sind auf sehr helle Objekte beschränkt: Galaxien, die nur schwach leuchten, kann man in großen Entfernungen nicht mehr wahrnehmen; zudem wird das Auflösungsvermögen mit zunehmender Entfernung geringer. All das erschwert es, die Verschmelzungsprozesse kleinerer Galaxien zu untersuchen. Solche kleineren Objekte, sogenannte Zwerggalaxien, dürften hauptsächlich zum Entstehen von Spiralgalaxien beigetragen haben – andernfalls wäre ihre geordnete Struktur zerstört worden.

Wenn kleinere mit größeren Galaxien verschmelzen, bilden sich gewaltige Ströme aus Gas und Sternen. Das Gas vermischt sich in vergleichsweise kurzer Zeit mit der Umgebung; die Sternströme aber können über viele Jahrmilliarden überleben. Ein Ziel der galaktischen Archäologie ist es, solche alten Sternströme innerhalb unserer Galaxis, der Milchstraße, zu entdecken und zu charakterisieren. Dies lässt auf die Art, den Zeitpunkt der Verschmelzungen und die Eigenschaften der kannibalisierten Galaxien rückschließen.

Die Erforschung der Milchstraße

Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderte Heidelberger Sonderforschungsbereich 881 „The Milky Way System“ untersucht die Entstehung unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße. Darüber hinaus erforschen die Wissenschaftler fundamentale Fragen der Galaxienbildung und -entwicklung. Der Sonderforschungsbereich ist am Zentrum für Astronomie der „Ruperto Carola“ angesiedelt; beteiligt sind Wissenschaftler des Astronomischen Rechen-Instituts, des Instituts für Theoretische Astrophysik und der Landessternwarte Königstuhl. Zugehörig sind auch das Heidelberger Institut für theoretische Studien der Klaus-Tschira-Stiftung, das Max-Planck-Institut für Astronomie sowie das Haus der Astronomie in Heidelberg, das von der Klaus-Tschira-Stiftung, der Max-Planck-Gesellschaft, der Universität und der Stadt Heidelberg unterhalten wird. Sprecherin des Sonderforschungsbereichs ist Prof. Dr. Eva Grebel.

www.zah.uni-heidelberg.de/de/sfb881



PROF. DR. EVA GREBEL ist seit dem Jahr 2007 Direktorin des Astronomischen Rechen-Instituts im Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg. Zuvor leitete sie von 2004 bis 2007 das Astronomische Institut der Universität Basel. Prof. Grebel ist Sprecherin des Sonderforschungsbereichs „The Milky Way System“, Mitglied der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und des Senats der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Ihr Forschungsschwerpunkt ist die Entwicklung von Galaxien. Für ihre Arbeiten zur galaktischen Archäologie erhielt sie zahlreiche Auszeichnungen, darunter im Jahr 2009 den Lautenschläger-Forschungspreis.

Kontakt: grebel@ari.uni-heidelberg.de

Wir haben bereits einige spektakuläre Ereignisse nachweisen können. Bislang wurden jedoch weniger Überreste zerstörter Zwerggalaxien gefunden als von theoretischer Seite zu erwarten wäre. Auch scheint es keine verhältnismäßig massereichen Galaxien gegeben zu haben, die mit der Milchstraße verschmolzen sind. Die gefundenen Objekte entsprechen Galaxien mit höchstens einem Tausendstel der Masse unserer Heimatgalaxie. Die Sternströme solch längst vergangener Ereignisse von Kannibalismus aufzuspüren ist eine Herausforderung, da sie im gewaltigen Ozean der Sterne unserer eigenen Galaxie leicht untergehen.

Für die galaktische Archäologie durchmustern wir derzeit den Himmel und messen die Positionen, Helligkeiten, Zusammensetzungen und Geschwindigkeiten Hunderttausender von Sternen. Die Daten der Durchmusterungen stammen aus großen internationalen Kollaborationen, an denen wir beteiligt sind. Die Beobachtungen erfolgen mit spezialisierten bodengebundenen Teleskopen in Australien, Chile und in den USA.

Im Dezember 2013 startete zudem die „Gaia“-Satellitenmission der Europäischen Raumfahrtagentur. An dieser Mission ist unser Heidelberger Institut federführend beteiligt. Gaia wird in den kommenden fünf bis zehn Jahren die Positionen, Entfernungen und Bewegungen von bis zu einer Milliarde Sternen in unserer Milchstraße mit größter Genauigkeit vermessen. Zudem gewinnt Gaia, ergänzt durch bodengebundene Observatorien, Informationen über die Zusammensetzung und das Alter der beobachteten Sterne. Dieser gewaltige Datenschatz wird es uns ermöglichen, die Entstehungsgeschichte der Milchstraße einschließlich des galaktischen Kannibalismus sehr genau rückzuverfolgen. Mit der Gaia-Satellitenmission bricht somit sprichwörtlich ein goldenes Jahrzehnt der galaktischen Archäologie an.

Auch andere nahe Galaxien werden nicht vernachlässigt. In deren äußeren Bereichen ließen sich mit tiefen Himmelsaufnahmen die Überreste zerrissener Zwerggalaxien identifizieren. In den inneren Regionen bieten die Sternströme nicht genügend Kontrast, um vom Licht der großen Galaxie unterschieden werden zu können. Manche Galaxien zeigen die Spuren einer sehr gewalttätigen Vergangenheit mit deutlich nachweisbarem Kannibalismus. Bei anderen Galaxien ist dies weniger ausgeprägt. Darüber hinaus finden wir in der Umgebung der massereichen Galaxien viele Zwerggalaxien, die künftig mit den Galaxien in Wechselwirkung treten könnten. Solche Beobachtungen helfen uns nicht nur, die Entwicklungsgeschichte der massereichen Galaxien besser zu verstehen und Verschmelzungsereignisse zu quantifizieren. Sie dienen auch dazu, theoretische Modellvorhersagen zu testen und zu verbessern.

Den „galaktischen Kannibalismus“ sollte man weniger im Sinne eines Krieges zwischen den Galaxien verstehen, sondern als Teil des natürlichen Wandels, der stetig im Weltall stattfindet. Der Begriff veranschaulicht das übliche und allmähliche Wachsen von Galaxien, währenddessen Material aus kleineren in größere Objekte inkorporiert wird und in diesen weiterbesteht. In einigen Milliarden Jahren wird dieses Schicksal auch unsere Milchstraße ereilen. ●

„Auch unsere Heimatgalaxie, die Milchstraße, wird in einigen Milliarden Jahren mit ihrer Nachbargalaxie, dem Andromedanebel, zu einer einzigen großen elliptischen Galaxie verschmelzen.“

GALACTIC CANNIBALISM

STAR WARS

EVA GREBEL

What do seemingly peaceful galaxies have to do with the brutal act of cannibalism? Astronomers find that, far from being uncommon, cannibalism is in fact the normal way in which galaxies grow. Neighbouring galaxies may interact with each other and eventually merge under the influence of gravity. Smaller galaxies merging with larger ones are gradually torn apart, forming extended streams of stars and gas, while the larger galaxies show hardly any distortions unless their interaction partner is fairly massive. In that case both galaxies will suffer major morphological changes, which may lead to spectacular images.

Heidelberg astronomers study these effects in the local part of the universe, particularly in our own Milky Way. Theoretical models tell us that massive galaxies like our own were formed through numerous mergers of smaller systems. If this is true, then these events should have left observable traces, e.g. in the form of stellar streams. The observation of such streams allows us to limit the number and time scales of potential merger events and gives us a more specific idea of the nature of the accreted progenitor galaxies. This will ultimately permit us to understand the role of galactic cannibalism as compared to other processes in the evolution of galaxies.

Small merger events can only be traced in nearby galaxies, because only they can be observed with the required resolution and contrast. Here we can use stars as fossil markers of past events. We search for stars with common properties such as similar ages, motions, and chemical composition in order to identify and characterise remnants of cannibalism. The recently launched European satellite mission Gaia, in which Heidelberg University is a key participant, will play a major role in these studies. ●

PROF. DR EVA GREBEL has been heading Heidelberg University's Astronomisches Rechen-Institut since 2007. Before coming to Heidelberg, she was director of the Astronomical Institute of Basel University in Switzerland. Prof. Grebel is the Speaker of the Collaborative Research Centre "The Milky Way System", and a member of the Heidelberg Academy of Sciences and Humanities and of the Senate of the German Research Foundation. Her special research interest is the evolution of galaxies. She has received numerous awards for her work on galactic archaeology, among them the 2009 Lautenschläger Research Award.

Contact: grebel@
ari.uni-heidelberg.de

“We can observe various stages of galactic cannibalism in space. Some galaxies show signs of a very violent past.”