

LEBEN UND STERBEN

DER GALAXIEN

LEBEN UND STERBEN DER GALAXIEN

KOSMISCHES SPINNENNETZ

DOMINIKA WYLEZALEK

Wie entstehen Galaxien, wie altern und wie sterben sie? Das sind einige der größten Fragen der Astrophysik – und die Antworten darauf rücken in greifbare Nähe. Denn das James-Webb-Weltraumteleskop hat ein weiteres neues Kapitel im „Goldenen Zeitalter der Astronomie“ aufgeschlagen: Mit seinen hochsensiblen Beobachtungen lässt es uns in die Geburtsstunde der Galaxien zurückblicken. Eine der ganz wenigen Astrophysiker:innen weltweit, die Beobachtungszeit in der ersten Runde des Teleskops erhalten haben, forscht am Astronomischen Rechen-Institut der Universität Heidelberg – und hat Unerwartetes entdeckt.

D

Der Sternenhimmel verbindet Menschen weltweit, unabhängig von Ort, Kultur und Glaube. Seit jeher bringen die Weite und die scheinbare Unendlichkeit des Universums die Menschen zum Nachdenken. Welchen Platz haben wir im Universum? Um darauf eine Antwort zu finden, wurden riesige Teleskope gebaut, mit denen sich tief ins All blicken lässt.

Tiefer und schärfer als je ein Teleskop zuvor durchmustert derzeit das James-Webb-Weltraumteleskop (JWST) das Universum. Im Juli 2022 wurden der Öffentlichkeit die ersten mit Spannung erwarteten Bilder des neuen gigantischen Teleskops präsentiert. Vor allem eine Aufnahme, „Webb's First Deep Field“, fasziniert: Das schärfste Infrarotbild, das jemals vom frühen Universum aufgenommen wurde, zeigt Tausende von nahen und fernen Galaxien in einem Bildausschnitt, der gerade einmal so groß wie ein Sandkorn ist. Astronominnen und Astronomen erlauben die Webb-Aufnahmen einen detaillierten, so bislang nie möglich gewesenen Einblick in die Kinder-, wenn nicht gar in die Säuglingszeit unseres Universums. Umgehend gab es daher einen Ansturm auf die Daten, um mit deren Auswertung verstehen zu können, wie sich die allerersten Galaxien im Universum gebildet und entwickelt haben.

Giganten des Universums

Galaxien, das sind große Ansammlungen von Sternen, Gas, Staub und Dunkler Materie, die von der Massenanziehung, der Gravitationskraft, zusammengehalten werden. Die Milchstraße – die Galaxie, in der sich unser Sonnensystem mit der Erde befindet – ist eine imposante Spiralgalaxie. Sie beherbergt rund 100.000.000.000 Sterne. In diesem gigantischen Zusammenschluss ist unsere Sonne ein recht durchschnittlicher Stern, einer unter unzähligen vielen. Galaxien müssen aber nicht immer nur spiralförmig wie unsere Milchstraße sein. Es gibt Galaxien, die mehr oder weniger spiralförmig sind, und es gibt Galaxien mit ellipsoiden Formen. Auch „Irreguläre Galaxien“ werden beobachtet, die weder spiralförmig noch ellipsoid sind. Sie sind offenbar aus der Form geraten, weil sie mit einer anderen Galaxie zusammenstießen.

Galaxien haben auch unterschiedliche Farben: Spiralgalaxien wie unsere Milchstraße erscheinen eher bläulich,

elliptische Galaxien sehen tendenziell rötter aus. Was ist der Grund für diese Unterschiede? Heute wissen wir, dass blau erscheinende Galaxien überwiegend junge Sterne enthalten, die vor einigen Millionen Jahren geboren wurden. Elliptische Galaxien bilden keine Sterne mehr oder nur wenig neue. Sie beherbergen hauptsächlich alte Sterne, die bereits mehrere Milliarden Jahre alt sind und überwiegend im roten Spektralbereich strahlen. „Red and dead“, rot und tot – so nennt man elliptische Galaxien im astronomischen Jargon. Wie sich junge Galaxien zu alten Galaxien entwickeln, ist eine der wichtigsten Fragen der modernen Astrophysik. Wie kommt es, dass eine Galaxie keine neuen Sterne mehr bildet und altert?

Schwarze Löcher

Junge und alte Galaxien haben eine Gemeinsamkeit: In ihrem Zentrum findet sich ein Schwarzes Loch. Schwarze Löcher sind sehr kompakte Objekte, das heißt, viel Masse ist in einem kleinen Volumen konzentriert. Das wiederum führt dazu, dass in unmittelbarer Nähe eines Schwarzen Loches die Anziehungskraft so groß ist, dass selbst Licht nicht entweichen kann – es ist eben ein Schwarzes Loch. Dass ein supermassereiches Schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße tatsächlich existiert, ist mittlerweile unanfechtbar bewiesen: Schon die schnellen Sternbewegungen im Zentrum der Milchstraße hatten auf eine große Masse im Zentrum rückschließen lassen – für diese Beobachtung

„Die aktivsten
Schwarzen Löcher sind
die Quasare –
man könnte sie auch
als die Leuchttürme
des Universums
bezeichnen.“

erhielten der deutsche Astrophysiker Reinhard Genzel vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching bei München und die US-amerikanische Astronomin Andrea Ghez im Jahr 2020 den Nobelpreis für Physik. Die erste direkte Aufnahme vom Schwarzen Loch in der Milchstraße veröffentlichte ein internationales Wissenschaftlerteam im Mai 2022: Zu sehen ist ein dunkler Schatten, der von einem hellen Ring umgeben ist. Wahrscheinlich beherbergen alle Galaxien des Universums ein Schwarzes Loch. Haben diese Löcher auch etwas mit dem Entstehen und Altern von Galaxien zu tun?

Supermassereiche Schwarze Löcher gehen manchmal durch aktive Phasen. Dann fallen große Mengen Staub und Gas in sie hinein. Astronomen nennen diesen Prozess „Akkretion“ vom lateinischen Wort „accretio“ für Anwachsen. In unmittelbarer Umgebung des Schwarzen Loches wird das Material dabei derart aufgeheizt, dass eine Unmenge Strahlungsenergie frei wird. Die aktivsten Schwarzen Löcher sind die Quasare – man könnte sie auch als die Leuchttürme des Universums bezeichnen, so viel Strahlungsenergie setzen sie frei. Die enorm große Energiemenge kann dazu führen, dass in der Galaxie Winde entstehen, die große Massen Gas aus der Galaxie hinauspushen. Wenn aber kein oder nur noch wenig Gas in der Galaxie vorhanden ist, können keine neuen Sternpopulationen gebildet werden: Ohne Gas gibt es keine neuen Sterne. In der Galaxie existieren nurmehr überwiegend alte Sterne – die Galaxie erscheint röter.

Das Schicksal der Materie, die in ein Schwarzes Loch fällt, lässt sich heute mit Hochleistungsrechnern nachvollziehen. Aktuelle Computersimulationen, an denen auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Theoretische Astrophysik der Universität Heidelberg beteiligt waren, zeigen, dass es sich dabei um einen Prozess handelt, der nicht ohne Rückkopplungen stattfinden kann. Bei diesem sogenannten Quasar-Feedback spielen turbulente Ströme eine Rolle. Noch sind die Details ungeklärt: Wann, warum und wie trägt das Quasar-Feedback zum Altern von Galaxien bei? Das ist eine entscheidende Frage, will man die Entwicklung von Galaxien verstehen. Feedbackprozesse zu beobachten und in Relation zur Entwicklung von Galaxien zu setzen, ist eine sehr herausfordernde Aufgabe. Seit etwa 15 Jahren erlauben neue Techniken an Teleskopen, dass diese Fragen nun besser angegangen werden können.

Dreidimensionale Einblicke ins Universum

Relativ neu ist eine Beobachtungsmethode, die es erlaubt, nicht nur die Helligkeit eines Objektes, sondern gleichzeitig ganze Spektren unterschiedlicher Wellenlängen aufzunehmen. Die Spektren in jedem Pixel des astronomischen Bildes erschaffen eine Datenstruktur, die einem dreidimensionalen Würfel ähnelt. Mit diesen dreidimensionalen Daten lassen sich Gas- und Sternbewegungen

„Das James-Webb-Weltraumteleskop erlaubt einen tiefen, so bislang nie möglich gewesenen Blick in die Kinder-, wenn nicht gar in die Säuglingszeit unseres Universums.“

räumlich vermessen, kartographieren und zueinander in Beziehung setzen. Unsere Forschungsgruppe GALENA (Galaxy Evolution and Active Galactic Nuclei) am Astronomischen Rechen-Institut der Universität Heidelberg arbeitet fast ausschließlich mit solchen dreidimensionalen Würfeln. Unser Ziel ist es, in unterschiedlichen Galaxien, ob fern oder nah, Feedbackprozesse zu untersuchen und zu verstehen, wie sie zur Galaxienentwicklung beitragen. Unsere Gruppe ist an mehreren internationalen Projekten beteiligt, die jeweils unterschiedliche Ansätze verfolgen. Ein zentrales gemeinsames Vorhaben ist die sogenannte SDSS-MaNGA-Himmelsdurchmusterung (SDSS = Sloan Digital Sky Survey; MaNGA = Mapping Nearby Galaxies at Apache Point Observatory). Im Lauf dieser großen internationalen Kollaboration gelang es, dreidimensionale Daten für 10.000 nahe Galaxien aufzunehmen. Mithilfe dieser Daten konnte unsere Arbeitsgruppe bestätigen, dass selbst Schwarze Löcher, die nur schwach akkretieren, weit ausgedehnte Winde in Galaxien erzeugen.

Das James-Webb-Weltraumteleskop erlaubt es nun erstmals, auch weit entfernte Galaxien mit Techniken zu

„Wir befinden uns in einem Goldenen Zeitalter der Astronomie.“

beobachten, die wir bislang nur für nahe Galaxien nutzen konnten. Das JWST startete am 25. Dezember 2021; den ersten Antrag für eine Beobachtungszeit mit dem neuen Teleskop stellte unsere Arbeitsgruppe bereits im Jahr 2017 – und wir wurden als eines von 13 Teams weltweit zur Nutzung ausgewählt. Die Beobachtungsdaten, die wir vom JWST erhielten (Stand September 2022), verblüfften uns jedoch zunächst mehr, als dass sie uns zu mehr Klarheit verholfen hätten.

Wenn man mit einem derart riesigen Teleskop ins Universum schaut und mit ihm in nie zuvor da gewesener Schärfe und Sensitivität einen Himmelsausschnitt beobachtet, ist es nicht gänzlich unwahrscheinlich, dass man auch Unerwartetes findet. Dass wir aber nicht nur eine – die von uns erwartete – Galaxie fanden, sondern noch mindestens drei weitere, hat uns dann doch überrascht. Die Galaxien befinden sich in unmittelbarer Nähe des Quasars und umkreisen den Quasar mit mehreren 100 Kilometern pro

Sekunde. Diese Beobachtung lässt Folgendes vermuten: Wir haben einen Knoten im sogenannten Kosmischen Spinnennetz entdeckt. Im Zentrum dieses Knotens befindet sich eine große Galaxie mit einem aktiven supermassereichen Schwarzen Loch, dem Quasar. Dieser Quasar bläst schnelle und großflächige Gaswinde. Das wirft sogleich weitere Fragen auf: Inwieweit steuert die Galaxie, die den Quasar beherbergt, Feedbackprozesse? Wie wird die Galaxie selbst von Feedbackprozessen beeinflusst? Welche Rolle spielen dabei Nachbargalaxien? Und wird auch deren Entwicklung von Feedbackprozessen beeinflusst?

Die meisten Fortschritte, die in den letzten beiden Jahrzehnten im Goldenen Zeitalter der Astronomie erzielt wurden, sind darauf zurückzuführen, dass sich die „Instrumentierung“ – die Teleskope, die Weltraumobservatorien und die Computerleistung – immens verbessert hat. Das James-Webb-Weltraumteleskop hat hier ein weiteres neues Kapitel aufgeschlagen: Mit seinen hochsensiblen



DR. DOMINIKA WYLEZALEK leitet seit dem Jahr 2020 am Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg die Emmy Noether-Nachwuchsgruppe „Rückkopplungsmechanismen aktiver galaktischer Kerne über Zeit und Raum“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Zusammen mit ihrem Team GALENA erforscht sie massereiche Schwarze Löcher in den Zentren von Galaxien und hat als eine der ganz wenigen Astrophysiker:innen weltweit Beobachtungszeit in der ersten Runde des James-Webb-Weltraumteleskops erhalten. Nach ihrem Physikstudium an den Universitäten Heidelberg und Cambridge (England) wurde sie an der Ludwig-Maximilians-Universität München promoviert. Gastaufenthalte führten sie ans NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) und das California Institute of Technology in den USA. Vor ihrem Wechsel nach Heidelberg forschte Dominika Wylezalek an der Johns Hopkins University in Baltimore (USA) und dem European Southern Observatory in München.

Kontakt: dominika.wylezalek@uni-heidelberg.de

COSMIC SPIDERWEB

DOMINIKA WYLEZALEK

Some of the biggest questions of modern astrophysics deal with the formation and evolution of galaxies and with the processes that shape them across cosmic time. In many ways, growing supermassive black holes can be regarded as the architects of the universe. They unfold their action and impact on small and on very large scales and can influence the development of whole galaxies with millions of stars, in whose centres they are often found. Using the James Webb Space Telescope (JWST), our group GALENA at Heidelberg University's Institute for Astronomical Computing aims to find and quantify concrete observational evidence for this black hole/galaxy self-regulation.

The JWST is the most advanced, highest-resolution near-infrared satellite ever built, designed to answer outstanding questions about the universe. The GALENA team is in the unique position to drive truly revolutionary work in both black hole and galaxy evolution research using this new space observatory. Our Q3D programme has been selected as one of the very first 13 projects worldwide for JWST observation time, and our group is involved in additional projects as part of the first year of scientific observations.

The JWST is equipped with "3D imaging spectroscopy" capabilities yielding complex datasets and enabling fundamentally new analysis methods. Our team is exploiting these new resources and applying modern statistical techniques and analyses to these high dimensional datasets. The goal is to investigate the power, reach and impact black holes have on the evolution of their host galaxies, and hence on the way our universe looks today. ●

DR DOMINIKA WYLEZALEK joined Heidelberg University's Centre for Astronomy in 2020 as head of the Emmy Noether Junior Research Group "Feedback from Active Galactic Nuclei Across Time and Space" of the German Research Foundation (DFG). With her team GALENA, she investigates supermassive black holes at the centres of galaxies and was one of only a handful of astrophysicists worldwide to be granted observation time in the first round of projects using the James Webb Space Telescope. She studied physics at the universities of Heidelberg and Cambridge (England) and earned her doctorate at LMU Munich. She subsequently worked as a visiting researcher at the NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL) and at the California Institute of Technology in the USA. Before her transfer to Heidelberg, Dominika Wylezalek held research positions at Johns Hopkins University in Baltimore (USA) and at the European Southern Observatory in Munich.

Contact: dominika.wylezalek@uni-heidelberg.de

“The question of how young galaxies develop into old galaxies is one of the most important in modern astrophysics.”

Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg

Das Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg (ZAH) ist die größte universitäre Einrichtung für astronomische Forschung und Lehre in Deutschland. Es wurde im Jahr 2005 als Zusammenschluss der bisherigen Landesforschungseinrichtungen Astronomisches Rechen-Institut (ARI) und Landessternwarte Königstuhl (LSW) mit dem bereits existierenden universitären Institut für Theoretische Astrophysik (ITA) gegründet. Die Forschung am ZAH umfasst einen breiten Themenbereich von Kosmologie und Gravitationslinsen über Galaxienentwicklung und Stellardynamik bis hin zu Sternentstehung, Astrometrie und Satellitenmissionen.

„Mithilfe der neuen Daten hoffen wir zu verstehen, wie sich unser Universum entwickelt hat – und wie wir unseren Platz in das Große und Ganze einordnen können.“

Beobachtungen lässt uns das Teleskop in die Geburtsstunde der Galaxien zurückblicken, in eine Zeit, in der Quasare das Schicksal der Galaxien bestimmten und darüber entschieden, wann Galaxien „rot und tot“ werden. Mithilfe der neuen Daten hoffen wir zu verstehen, wie sich unser Universum entwickelt hat – und wie wir unseren Platz in das Große und Ganze einordnen können. ●

Herausgeber

Universität Heidelberg
Der Rektor
Kommunikation und Marketing

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. Olaf Bubenzer
Prof. Dr. Peter Comba (Vorsitz)
Prof. Dr. Beate Ditzel
Prof. Dr. Nikolas Jaspert
Prof. Dr. Harald Klüter
Prof. Dr. Marcus A. Koch
Prof. Dr. Dr. h.c. Thomas Pfeiffer
Prof. Dr. Anja Stukenbrock
Prof. Dr. Joachim Wambsgans
Prof. Dr. Reimut Zohlhöfer

Redaktion

Marietta Fuhrmann-Koch
(verantwortlich)
Mirjam Mohr (Leitung)
Claudia Eberhard-Metzger

Layout

KMS TEAM GmbH, München

Druck

ColorDruck Solutions GmbH, Leimen

Auflage

6.000 Exemplare

ISSN

0035-998 X

Vertrieb

Universität Heidelberg
Kommunikation und Marketing
Grabengasse 1, 69117 Heidelberg
Tel.: +49 6221 54-19026
ruca@uni-heidelberg.de

Das Magazin kann kostenlos unter oben genannter Adresse abonniert werden.

Im Internet ist es verfügbar unter:

<https://www.uni-heidelberg.de/de/presse-medien/publikationen/forschungsmagazin>

<http://heiu.uni-heidelberg.de/journals/index.php/ruptocarola>