

Universe Under Construction

Wechselwirkung zwischen Galaxien als Schlüsselmechanismus für kosmische Strukturbildung

Birgit Schörkhuber

Mit dem Start des Hubble Space Telescopes am 26. April 1990 öffnete sich für die Menschheit ein neues Fenster in die Tiefen des Weltalls. Ohne den störenden Einfluss der Atmosphäre wurden in den vergangenen Jahren über 27000 Objekte unter die Lupe genommen. Die atemberaubenden Aufnahmen, die dabei entstanden, prägten im wahrsten Sinne des Wortes unser Bild vom Universum. Zum 18. Jahrestag veröffentlichte das „Hubble Heritage Project“ nun unter dem Titel „Cosmic Collisions Galore!“ (auf Deutsch heißt das etwa „Ein bunter Strauß von kosmischen Zusammenstößen“) eine Zusammenstellung der schönsten Aufnahmen wechselwirkender Galaxien. Untersuchungen dieser spektakulären Ereignisse, die im Kosmos keine Ausnahmereischeinungen darstellen, haben viel zur Weiterentwicklung unserer Ansichten über die Entwicklung von Galaxien beigetragen.



Abb. 1: UGC 9618:
Zwei gasreiche Spiralgalaxien
in einem frühen Stadium der
Wechselwirkung. Entfernung:
ca. 150 Mpc

Galaxien: haufenweise

Seit den Tagen Edwin Hubbles, der in den Zwanziger Jahren des vorigen Jahrhunderts die „galaktischen Nebel“ als Sternsysteme weit außerhalb unserer Milchstrasse identifizierte, haben wir einiges über den Aufbau des uns zugänglichen Universums gelernt.

Viele Beobachtungen zeigen, dass die meisten Galaxien nicht isoliert, sondern gravitativ gebunden in Gruppen zu finden

Birgit Schörkhuber studiert nach einem Baccalaureat in Astronomie theoretische Physik und war Mitarbeiterin am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik an der Universität Wien.
e-Mail: birgit.schoerhuber@univie.ac.at

sind, wobei die Anzahl der Mitglieder von einigen wenigen bis hin zu tausenden reichen kann. Diese Galaxiencluster wiederum sind im Raum nicht gleichförmig verteilt, sondern durchziehen das Universum filamentartig.



Abb. 2: AM 1316-241:
Spiralgalaxie und Elliptische
Galaxie in Wechselwirkung.

Die Milchstraße etwa gehört, neben der benachbarten Andromedagalaxie und M33, zu den drei massereichsten und hellsten der ca. 40 Mitglieder der „Lokalen Gruppe“ mit einer Ausdehnung von etwa 2 Mpc¹⁾. Diese ist wiederum Teil des viel größeren Virgo-Superclusters, der sich aus vielen ähnlichen Kleingruppen zusammensetzt und dessen gravitatives Zentrum, der Virgohaufen, in ca. 20 Mpc Entfernung liegt. In den Zentren von großen Galaxienverbänden finden sich oftmals massereiche elliptische Galaxien - gasarme Systeme, die vor allem sehr alte Sterne beheimaten. Diese beiden Eigenschaften unterscheiden sie neben der sphäroidalen Form und dem Fehlen einer inneren Struktur von Spiralgalaxien.

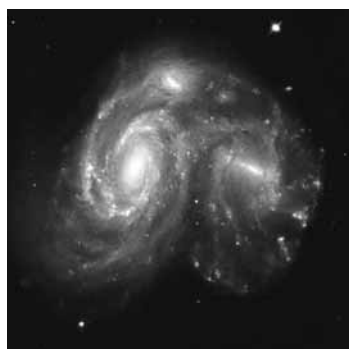


Abb. 3: NGC 6050/ IC 1179 im
Herkules Cluster. Entfernung
ca. 50 Mpc/Wirkung.

¹⁾ Die astronomische Einheit 1 Mpc (Megaparsec) entspricht 3,26 Lichtjahren

Eine konsistente Theorie der Entwicklung von Galaxien, die sich mit allen Beobachtungen deckt, ist noch ausständig. In diesem Zusammenhang wurde in den letzten Jahrzehnten die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen Galaxien durch zahlreiche Beobachtungen immer evidenter. Was die Bildung von großskaligen Strukturen im Universum betrifft, so vertreten viele Wissenschaftler/innen im Einklang mit dem aktuellen kosmologischen Bild²⁾ ein hierarchisches „Bottom-up“-Modell. Das bedeutet, dass sich in der Frühzeit des Kosmos Strukturen zuerst auf kleinen Skalen bildeten, große Formationen wie Galaxien und in weiterer Folge Galaxienhaufen entstanden erst nach und nach durch gravitative Wechselwirkung. Die spektakulären „Major Mergers“, d.h. das Verschmelzen zweier Systeme mit vergleichbarer Masse, waren im frühen Universum aufgrund der geringeren räumlichen Abstände keine Seltenheit - auch das zeigen Deep Field-Aufnahmen des Hubble Teleskops. Wie solch kosmische Großereignisse im Detail vonstatten gehen, versuchen Astrophysiker/innen heute mit numerischen Simulationen herauszufinden.

Die ersten erfolgversprechenden Ergebnisse in diesem Gebiet lieferten in den 70er Jahren die Brüder Alar und Juri Toomre [1]. Ihnen gelang es, die gravitative Interaktion zweier Galaxien am Computer zu simulieren und mit einem relativ einfachen Programm eindrucksvoll die Morphologie von vier wechselwirkenden Systemen zu reproduzieren. Die Programme, die in der Astrophysik heutzutage verwendet werden, sind ungleich komplexer und sollen neben den Bahnen der Sterne vor allem auch das Verhalten der Gaskomponente und der dunklen Materie, die in äußeren Bereichen von Galaxien (dem Halo) vermutet wird, berechnen. Beim Verschmelzen zweier Galaxien kollidieren zwar keine einzelnen Sterne, die Gaswolken beider Systeme werden jedoch durchaus mit hohen Geschwindigkeiten aufeinandertreffen – Schockwellen und Stoßfronten bilden sich aus. Es entstehen lokale Verdichtungen, wodurch die Rate der Sternentstehung stark ansteigt („Starburst“).

Auch die Mechanismen zur Entstehung elliptischer Galaxien kann man mit Hilfe solcher Simulationen genauer untersuchen [3]. Berechnungen zeigen, dass beim Verschmelzen von Spiralgalaxien Sterne, die sich in den Scheiben der Muttergalaxien bewegen, durch die Wechselwirkung mit der kollidierenden Galaxie ihre früheren Bahnparameter „vergessen“. Findet das System wieder ins Gleichgewicht, so sind die Sternbahnen (ähnlich wie die Teilchen in einem Gas) nun zufällig verteilt – ein Charakteristikum elliptischer Galaxien. Der vergleichsweise geringe Gasanteil wird durch vermehrte Sternentstehung beim Verschmelzen der Galaxien (Merging) erklärt.

Je mehr Prozesse in Simulationen berücksichtigt werden sollen, desto mehr physikalische Parameter müssen vorgegeben werden. Diese Werte passt man so lange an, bis das Ergebnis der Simulation so gut wie möglich mit den Beobachtungsdaten übereinstimmt. Viele physikalische Mechanismen und komplexe Zusammenhänge sind dabei jedoch

²⁾ beschleunigt expandierendes Universum mit positiver kosmologischer Konstante und kalter dunkler Materie (ΛCDM - Modell)

noch unklar, so dass man auf zukünftige Erkenntnisse aus Beobachtungen wie dem GOAL-Survey (siehe Kasten) hoffen muss.

Lokalnachrichten: Galaktischer Kannibalismus

Das Verschmelzen zweier ähnlich großer Galaxien ist ein extremes Beispiel für einen Wechselwirkungsprozess. Unscheinbarer - aber im Sinne hierarchischer Strukturbildung essentiell - ist eine Art der Interaktion, die oft als „galaktischer Kannibalismus“ bezeichnet wird. Masseärmere Begleitgalaxien kommen dabei den Muttergalaxien so nahe, dass durch die gravitative Wechselwirkung Materieflüsse entstehen und das kleine System akkretiert, also sozusagen „verspeist“ wird. Lange schon vermuten Wissenschaftler/innen, dass durch solche Prozesse auch die Milchstrasse zu einem beträchtlichen Teil ihrer Masse gelangt ist. Mit der Entdeckung der elliptischen Zwerggalaxie Sagittarius (SagDEG) 1994 [2] konnte diese Hypothese untermauert werden. Das System ist der Milchstrasse näher als jeder andere bisher entdeckte Begleiter (Entfernung vom Milchstraßenzentrum ca. 50.000 Lichtjahre) und ist starken Gezeitenkräften ausgesetzt. Die Wechselwirkung zwischen SagDEG und unserer Galaxie wird seitdem intensiv untersucht. Neueste Untersuchungen der Sterne im galaktischen Halo und Vergleiche mit Simulationen [4] deuten tatsächlich darauf hin, dass ein erheblicher Anteil dieser Sterne ursprünglich in begleitenden Zwerggalaxien beheimatet war.

Nachbemerkung

Wie entwickeln sich Spiralgalaxien nach Zusammenstoßen? Aus einem Vergleich von über 2000 Spiralgalaxien konnte das COSMOS-Team am CalTech (Kartik Sheth et al.[6]) zeigen, dass kleinere Galaxien sich im Lauf der Jahrmilliarden zu Balkengalaxien entwickeln, indem die Sterne nicht mehr auf Kreisbahnen um das Galaxienzentrum laufen, sondern durch Bahnstörungen auf gestreckten Bahnen, die durch die gegenseitige Anziehung Balken bilden.

Weitere Informationen zum Thema

Die offizielle Seite des Hubble-Projekts
<http://hubblesite.org>

„Cosmic Collisions Galore!“
http://hubblesite.org/gallery/album/entire_collection/pr2008016a/

Mehr Informationen zu GOALS
<http://goals.ipac.caltech.edu/>

Hubble Heritage Project

Viele interessante Informationen zur Entstehung und Nachbearbeitung der Bilder
<http://heritage.stsci.edu/>

Quellen

- [1] Toomre, A. and Toomre, J. (1972): „Galactic Tails and Bridges”. *The Astrophysical Journal* 178: 623–666. (Die Brüder Toomre stellten ihre Ergebnisse als Film dar: http://www.tech.clandestine.com/toomre_inv.html)
- [2] Ibata, R. A., Gilmore, G., & Irwin, M. J (1995): Sagittarius: the nearest dwarf galaxy, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 277, Issue 3, pp. 781-800.
- [3] e.g.: Toomre 1977; Mamon 1992; Baugh, Cole & Frenk 1995; Springel et al. 2001a
- [4] Bell, E.F. et al. (2008): The accretion origin of the Milky Way's stellar halo, *The Astrophysical Journal*, 680:295Y311
- [5] Genzel, R. & Cesarsky, C.J. (2000): Extragalactic Results from the infrared space observatory <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0002184>
- [6] Sheth K. et al (2008), Evolution of the Bar Fraction in COSMOS: Quantifying the Assembly of the Hubble Sequence. *ApJ*, 675, 1141-1155. *s.a.* http://mr.caltech.edu/media/Press_Releases/PR13170.html

Der GOAL Survey

Die Aufnahmen von "Cosmic Collisions Galore" entstanden im Zuge einer Untersuchung von Galaxien, die im fernen Infraroten besonders hohe Leuchtkräfte aufweisen. In diesem Wellenlängenbereich von ca. 50-1000 μm können kühles Gas und Staub beobachtet werden. Sternentstehungsregionen, in denen Protosterne noch in Staubwolken verborgen liegen, emittieren im Infraroten. Auch die „staubigen“ Zentralregionen von Galaxien sind in diesem Spektralbereich sichtbar.

wobei manche Systeme enorme Infrarothelligkeiten von über 10^{12} Sonnenleuchtkräften³⁾ aufweisen. Diese werden als (U) LIRGs, (Ultra) Luminous Infrared Galaxies bezeichnet, wobei die zugrunde liegenden Ursachen dieses Phänomens noch nicht vollständig geklärt sind. Eine Erklärungsmöglichkeit liefern Starburstmodelle, in denen beim Zusammenstoß von Galaxien die Sternentstehungsrate durch Verdichtung des Gases rapide ansteigt. Aber auch aktive schwarze Löcher (Active Galactic Nuclei), die in den Zentralregionen der meisten Galaxien vermutet werden, können als Ursache für dieses Phänomen festgemacht werden. Beim Merging zweier Systeme verliert die Gaskomponente aufgrund von „dynamischer Reibung“ Drehimpuls – riesige Gasmassen fallen in Richtung Zentrum der Galaxie. Das einfallende Gas sammelt sich in einer Akkretionsscheibe um das schwarze Loch, erhitzt sich dort und strahlt. Darüber hinaus bilden sich senkrecht zur Akkretionsscheibe Jets aus, das sind Ströme hochenergetischer Teilchen, die weit in den intergalaktischen Raum hinausreichen. Untersuchungen zeigen, dass in vielen (U)LIRGS sowohl AGN's als auch Starburstregionen für die hohe IR-Leuchtkraft verantwortlich sind [5].

Die Hubble-Bilder im visuellen Bereich komplettieren im Zuge des „Great Observatory All-sky LIRG Survey“ Untersuchungen von etwa 200 (U)LIRGs in anderen Wellenlängenbereichen. Die Wissenschaftler/innen wollen Licht auf die Details und Zusammenhänge der Ursachen für die Infrarotstrahlung in Abhängigkeit von Leuchtkraft und Stadium der Galaxienwechselwirkung werfen, um ein besseres Verständnis für die wesentlichen Mechanismen der Galaxieentwicklung zu erhalten.

³⁾ 1 Sonnenleuchtkraft = $4 \cdot 10^{26}$ W

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts

Generalversammlung 2008

In der Hauptversammlung vom 18. November 2008 wurde der bisherige Vorstand wieder gewählt:

Obmann: ao.Univ.-Prof. Dr. Helmut Kühnelt

Obmann-Stv.: LSI Mag. Wolfgang Wurm

Schriftführerin: Prof. Mag. Dr. Helga Stadler

Schriftführer-Stv.: Gerald Grois

Kassierin: Prof. Mag. Maria-Magdalena Schäffer

Kassier-Stv.: Prof. Mag. Theodor Duenbostl

Kassenprüfer: HOL Werner Rentzsch

Kassenprüfer: Prof. Mag. Helmut Wanek

Da im Vereinsjahr 07/08 nur eine Ausgabe PLUS LUCIS erschienen ist und dank der Unterstützung der Fortbildungs-

woche durch die PH Wien, waren die Ausgaben geringer als im Vorjahr, so dass ein Überschuss erzielt werden konnte. Daher besteht keine Notwendigkeit zur Anhebung der Mitgliedsbeiträge, diese befinden sich weiter auf dem Stand von 2001: 20 EUR für aktive Mitglieder, 15 EUR für Mitglieder in Pension, 5 EUR für Studierende und Karenzierte.

Es wird verstärkt für Beiträge zu PLUS LUCIS geworben. Von kleinen Unterrichtsideen bis zu großen Projekten gibt es im Land Vieles, was mehr öffentliche Aufmerksamkeit verdient und Kolleginnen und Kollegen Anregungen für den eigenen Unterricht bieten könnte. Die Leiter der Kompetenzzentren für Didaktik der Chemie, bzw. der Physik bieten dazu Beratung und Unterstützung an.