

Galaxien

Als eine **Galaxie** (altgr.: γαλαξίας *galaxías* „Milchstraße“) wird in der Astronomie allgemein eine gravitativ gebundene große Ansammlung von Materie wie Sternen und Planetensystemen, Gasnebeln, Staubwolken und sonstigen Objekten bezeichnet. Eine Galaxie ist ein besonders großes Sternsystem.

Als die **Galaxis** im Singular wird in der Astronomie ausschließlich unsere eigene Galaxie, die Milchstraße bezeichnet. In einer dunklen und klaren Nacht sehen die dicht gedrängten Sterne der galaktischen Scheibe wie eine Spur von verschütteter Milch aus.



Die Andromeda-Galaxie M31, die uns am nächsten gelegene größere Galaxie. Die *Zwillings-Galaxie* der Milchstraße



Hubble Deep Field, aufgenommen im Dezember 1995

Allgemeines

Galaxien variieren stark in Aussehen (Morphologie), Größe und Zusammensetzung. Die Milchstraße gehört zu den größeren Galaxien und besitzt etwa 300 Milliarden ($3 \cdot 10^{11}$) Sterne bei einem Durchmesser von etwa 100.000 Lichtjahren. Neben den Sternen besteht eine Galaxie auch aus Gas, Staub und Dunkler Materie. Die Andromeda-Galaxie ist unsere nächste größere Nachbargalaxie. Die Entfernung zwischen diesen beiden Galaxien beträgt 2,4–2,7 Millionen Lichtjahre. Zusammen mit weiteren Galaxien bilden beide Galaxien die Lokale Gruppe. Neben dieser Galaxiengruppe gibt es auch Galaxienhaufen mit vielen tausend Mitgliedern. Aufgrund der letzten „Ultra-Deep-Field“-Aufnahmen des Hubble-Teleskops vom März 2004 kann man grob abschätzen, dass mit heutiger Technik von der

Erde aus über 50 Milliarden ($5 \cdot 10^{10}$) Galaxien theoretisch beobachtet werden könnten. Lange Zeit war die genaue Natur der Galaxien unklar, da die einzelnen Sterne nicht aufgelöst werden konnten und nur ein Nebel beobachtet wurde. Die Frage war, ob diese Spiralnebel zu unserer Galaxie gehören oder eigene Sternensysteme sind. Erst im Jahr 1923 gelang es Edwin Hubble, diese Frage zu klären. Er bestimmte die Entfernung zur Andromeda-Galaxie und stellte fest, dass die Andromeda-Galaxie zu weit entfernt ist, um zu unserer Galaxie zu gehören.

Galaxientypen

Klassifikation nach Hubble



Galaxientypen nach der Hubble-Klassifikation: „E“ steht für Elliptische Galaxien, „S“ steht für Spiralen und „SB“ für Balkenspiralen (Spiral Barred).

Galaxien werden nach ihrer Form in verschiedene Haupt- und Untergruppen der so genannten Hubble-Klassifikation eingeteilt (siehe Morphologie). Diese Klassifikation wurde von Edwin Hubble begründet und ist mit einigen Erweiterungen bis heute in Gebrauch, obwohl sie ursprünglich nur auf einer kleinen Stichprobe von nahen und hellen Galaxien basierte, die damals im optischen Wellenlängenbereich beobachtet werden konnten. Die Hubble-Klassifikation ist rein empirisch und besagt nichts über die Entwicklung von Galaxien. Die einzelnen Typen sind:

- Elliptische Galaxien zeigen keine besonderen Unterstrukturen. Die Linien gleicher Helligkeit haben die Form einer Ellipse. Die Elliptischen Galaxien haben einen gleichmäßigen Helligkeitsabfall von innen nach außen. Sie beinhalten nahezu kein Gas, daher geht ihre Sternentstehungsrate gegen null. Ihr Spektrum wird von alten und daher roten Sternen dominiert. Elliptische Galaxien werden nach ihrer numerischen Exzentrizität in die Klassen *E0* (kreisförmig) bis *E7* (stark elliptisch) eingeteilt. Die Zahl hinter dem E gibt die erste Nachkommastelle der Exzentrizität an, das heißt eine Galaxie der Klasse *E7* hat die Exzentrizität 0,7. Die absoluten Helligkeiten Elliptischer Galaxien umfassen einen großen Bereich. Die hellsten Galaxien sind zumeist Elliptische Galaxien und sind in diesem Fall wahrscheinlich durch die Verschmelzung mehrerer kleiner bis mittelgroßer Galaxien entstanden. Elliptische Galaxien sind häufig in großen Galaxienhaufen anzutreffen.
- Lentikuläre (linsenförmige) Galaxien gehören der Klasse *S0* an. Sie haben einen Kern, der dem der Spiralgalaxien entspricht, ihre galaktische Scheibe enthält jedoch keine Spiralarme, sondern ist etwa gleichmäßig hell (Beispiel: M 102).
- **Spiralgalaxien** haben einen sphäroidischen Kern, den so genannten Bulge, und davon ausgehende Spiralarme, die in einer flachen Scheibenkomponente liegen. Während der Bulge einer elliptischen Galaxie ähnelt und keine Sternentstehung mehr zeigt, erlauben das in der Scheibe vorhandene Gas und Staub die Sternentstehung in den Spiralarmen. Daher erscheinen die Spiralarme auf Bildern

meistens blau und der Bulge meistens rötlich. Die Spiralarme werden weiter in die Klassen *Sa*, *Sb* und *Sc* unterteilt. Galaxien vom Typ *Sa* haben einen sehr ausgeprägten Kern und eng gewundene Spiralarme (Beispiel: Sombronebel M 104). Der Typ *Sc* hat einen relativ schwachen galaktischen Kern, äußerst locker gewundene Spiralarme und dadurch manchmal fast die Gestalt eines in sich verschlungenen „S“ (Beispiel: der Dreiecksnebel M 33). Zusammen mit den lentikulären Galaxien werden *Sa*, *Sb* und *Sc* auch als *Scheibengalaxien* zusammengefasst; von Laien werden sie meistens *Spiralnebel* genannt. Spiralgalaxien können zusätzlich dahingehend unterteilt werden, wie stark sich die Spiralarme von der übrigen Scheibenregion abheben. Ist eine Spiralstruktur nur angedeutet und kaum von der galaktischen Scheibe zu unterscheiden, spricht man von so genannten *flocculent spirals* („flockigen“ Spiralnebeln).

- Balkenspiralgalaxien haben vom Zentrum ausgehend einen langen Balken, an den sich dann die Spiralarme anschließen (Beispiel: M 109). Ebenso wie die Spiralgalaxien werden sie mit zunehmender Ausprägung des Kerns und Öffnung ihrer Spiralarme in die Klassen *SBa*, *SBb* und *SBc* unterteilt. Bei unserer Galaxis handelt es sich wahrscheinlich um eine Balkenspiralgalaxie.



NGC 1300, eine Balkenspirale vom Hubble-Typ *Sbb*

- Irreguläre (unregelmäßige) Galaxien haben weder Spiralarme noch elliptische Form. Sie sind im Mittel leuchtschwächer als elliptische und Spiralgalaxien. Zu dieser Gruppe gehören meistens Zwerggalaxien.

Neben der Klassifikation nach Hubble gibt es auch weitere Einteilungen, beispielsweise nach Gérard-Henri de Vaucouleurs oder die Yerkes-Klassifikation, die jedoch seltener gebraucht werden. Die groben Klassifikationen werden der Vielzahl der gefundenen Galaxientypen oft nicht gerecht, weshalb man viele weitere Charakteristika zur Beschreibung von Galaxien heranzieht.

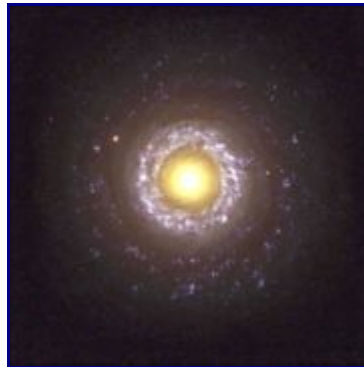
Weitere Galaxientypen



Die „Mäuse“-Galaxien IC 820 (links) und IC 819 sind im Begriff miteinander zu verschmelzen und bilden Gezeitenarme



Die Wagenradgalaxie



Die aktive Galaxie NGC 7742 hat einen sehr hellen Kern.

Es gibt weitere Formen von Galaxien, die sich nicht in obiges Schema einordnen lassen oder dieses ergänzen. Unter anderem sind dies:

- Zwerggalaxien sind Galaxien geringerer Helligkeit, sie sind viel zahlreicher als Riesengalaxien. Anders als bei diesen gibt es vor allem elliptische (dE), spheroidale (dSph) und irreguläre (dIrr) Zwerggalaxien. Die elliptischen Zwerggalaxien kann man noch einmal unterteilen in kompakte (cE) und diffuse Galaxien. Die nächste kompakte elliptische Zwerggalaxie, die auch die einzige in der Lokalen Gruppe ist, ist M32. Kompakte elliptische Zwerggalaxien ähneln in ihrer Morphologie eher den großen elliptischen Galaxien. Sie besitzen eine stärker ausgeprägte Zentralregion als die diffusen, was auf eine unterschiedliche Entstehungsgeschichte hinweist.
- Wechselwirkende Galaxien sind Begegnungen zweier oder mehrerer Galaxien. Da man je nach Stadium der Wechselwirkung unterschiedliche Kerne und auch Gezeitenarme beobachten kann, passen auch diese Systeme nicht in das Klassifikationsschema von Hubble.
 - Gezeitenarm-Galaxien (tidal dwarf galaxies, TDG) sind Galaxien, die bei der Wechselwirkung zweier gasreicher Galaxien in langen Gezeitenarmen aus Gas und Staub entstehen.
 - Polarring-Galaxien beschreiben recht seltene Ergebnisse der Verschmelzung zweier Galaxien. Durch gravitative Wechselwirkung kamen sich hierbei zwei Galaxien so nahe, dass oftmals der masseärmere Wechselwirkungspartner zerrissen wurde und dessen Sterne, Gas und Staub im Schwerefeld der anderen Galaxie eingefangen werden. Dabei ergibt sich, abhängig von der Orientierung des Zusammenstoßes, mitunter auch ein Ring aus Sternen, der wie ein zusätzlicher Spiralarm eine Galaxie umgibt. Da dieser Ring meistens

senkrecht zur Galaxienhauptebene ausgerichtet ist, spricht man von Polarring-Galaxien. Es gibt hierbei ebenfalls Anzeichen, dass unsere Galaxie einen solchen Polarring besitzt (Beispiel: Wagenradgalaxie).

- Als aktive Galaxien bezeichnet man i.A. eine Untergruppe von Galaxien mit einem besonders hellen Kern (engl. auch AGN, Active Galactic Nucleus genannt). Diese hohe Leuchtkraft deutet sehr wahrscheinlich auf ein aktives massereiches Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxie hin. Zu dieser Gruppe zählen:
 - Radiogalaxien strahlen sehr viel Synchrotronstrahlung im Bereich der Radiowellen ab und werden daher auch mit Hilfe der Radioastronomie untersucht. Oft beobachtet man bei den Radiogalaxien bis zu zwei Materieströme, so genannte Jets. Beispiele für starke Radiogalaxien sind: Centaurus A, Perseus A, Cygnus A und M 87 im Sternbild Jungfrau.
 - Seyfertgalaxien haben einen sehr hellen, sternförmigen Kern und zeigen im Bereich des visuellen Spektrums prominente Emissionslinien. Etwa ein Prozent der Hauptgalaxien gehören zu dieser Kategorie.
 - BL Lacertae-Objekte sind aktive Galaxien, deren Spektrum keine Absorptions- und Emissionslinien aufweist. Obwohl sie teilweise sehr hell sind, kann ihre Rotverschiebung schlecht bestimmt werden. Ihre Helligkeit ist stark variabel. BL-Lac-Objekte gehören neben den Quasaren zu den leuchtstärksten bekannten Objekten.
 - Quasare sind die Objekte mit der größten absoluten Helligkeit, die beobachtet wurden. Aufgrund der großen Entfernung dieser Objekte kann man nur deren kompakten, sternförmigen Kern beobachten.
- Starburstgalaxien sind Galaxien mit einer sehr hohen Sternentstehungsrate und der daraus folgenden intensiven Strahlung. Eine gut erforschte Starburstgalaxie ist M82.

Entstehung und Entwicklung

Der Mikrowellenhintergrund gibt die Materieverteilung des Universums 380.000 Jahre nach dem Urknall wieder. Damals war das Universum noch sehr homogen: Die Dichtefluktuationen lagen in der Größenordnung von 1 zu 10^{-5} . Im Rahmen der Kosmologie kann das Anwachsen der Dichtefluktuation durch den Gravitationskollaps beschrieben werden. Dabei spielt vor allem die Dunkle Materie eine große Rolle, da sie gravitativ über die baryonische Materie dominiert. Unter dem Einfluss der Dunklen Materie wachsen die Dichtefluktuationen, bis sie zu dunklen Halos kollabieren. Da bei diesem Prozess nur die Gravitation eine Rolle spielt, kann dieser Prozess heute mit großer Genauigkeit berechnet werden (z.B. Millennium-Simulation). Das Gas folgt der Verteilung der dunklen Materie, fällt in diese Halos, verdichtet sich und es kommt zur Bildung der Sterne. Die Galaxien beginnen sich zu bilden. Die eigentliche Galaxienbildung ist aber unverstanden, denn die gerade erzeugten Sterne beeinflussen das einfallende Gas (das sogenannte Feedback), was eine genauere Simulation schwierig macht. Nach ihrer Entstehung haben sich die Galaxien weiter entwickelt. Nach dem hierarchischen Modell der Galaxienentstehung wachsen die Galaxien vor allem durch Verschmelzen mit anderen Galaxien an. Danach bildeten sich im frühen Kosmos unter dem Einfluss der Schwerkraft

die ersten noch recht massearmen Proto-Galaxien. Nach und nach, so die Vorstellung, fügten sich diese Galaxienvorläufer durch Kollisionen zu ausgewachsenen Exemplaren wie unserer Milchstraße und noch größeren Galaxien zusammen. Die Relikte solcher Kollisionen zeigen sich in der Milchstraße noch heute als sogenannte Sternenströme. Das sind Gruppen von Sternen, deren gemeinsames Bewegungsmuster auf einen Ursprung außerhalb der Milchstraße weist. Sie werden kleineren Galaxien zugerechnet, die von der Milchstraße durch Gezeitenkräfte zerrissen und verschluckt wurden.

Ein Modell der Galaxienentstehung geht davon aus, dass die ersten Gaswolken sich durch Rotation zu Spiralgalaxien entwickelt haben. Elliptische Galaxien entstehen nach diesem Modell erst in einem zweiten Stadium durch die Kollision von Spiralgalaxien. Spiralgalaxien wiederum können nach dieser Vorstellung dadurch anwachsen, dass nahe (Zwerg-)Galaxien in ihre Scheibe stürzen und sich dort auflösen (Akkretion).

Die Beobachtung von hochrotverschobenen Galaxien ermöglicht es, diese Entwicklung nachzuvollziehen. Große Erfolge hatten dabei insbesondere tiefe Durchmusterungen wie das Hubble Deep Field. Insgesamt ist die Entstehung und Entwicklung von Galaxien als aktueller Forschungsgegenstand noch nicht abgeschlossen und somit noch nicht ausreichend sicher erklärbar.

Neueste Studien gehen davon aus, dass sich im Zentrum jeder Galaxie ein supermassives schwarzes Loch befindet, das signifikant an der Entstehung der Galaxie beteiligt ist. So entstehen Galaxien aus riesigen Gaswolken (Wasserstoff), deren Zentren zu supermassiven schwarzen Löchern kollabieren, diese wiederum heizen das umliegende Gas so weit auf, dass sich durch Verdichtung Sterne und letztendlich Planeten bilden. Die Größe der Galaxien und deren Zentren (supermassive schwarze Löcher) stehen in direktem Zusammenhang: je größer eine Galaxie, desto größer das Zentrum.