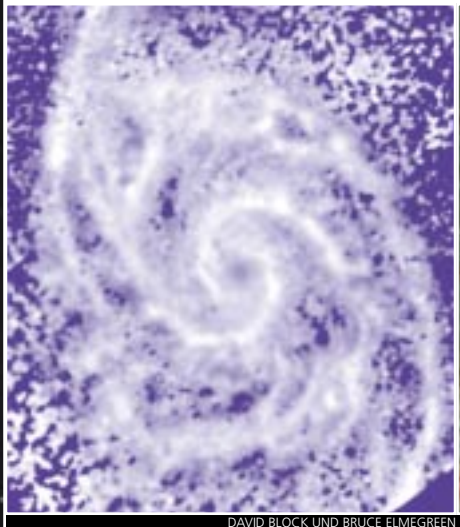
HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

DAS RÄTSEL DER KOSMISCHEN



T. A. RECTOR / MONICA RAMIREZ / NOAO

Die »Whirlpool-Galaxie« M 51 baumelt an der Deichsel des Großen Wagens. Dieses Musterbeispiel einer Spiralgalaxie bleibt rätselhaft. Einige Astronomen führen ihre Struktur auf Gezeitenkräfte der Nachbargalaxie NGC 5195 (oben im Bild) zurück.



DAVID BLOCK UND BRUCE ELMEGREEN

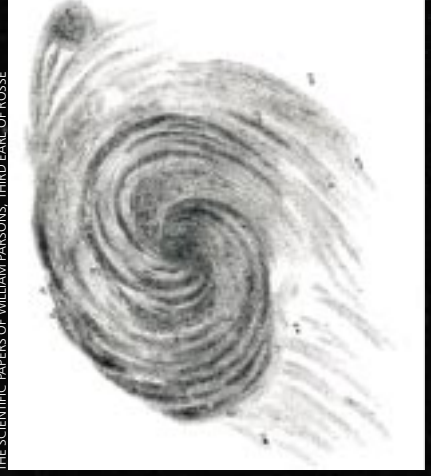
Die Staubstreifen von M 51 treten auf dieser Aufnahme des Infrarotsatelliten Iso deutlich hervor. Mit Hilfe solcher Bilder können Astronomen den Zusammenhang zwischen Spiralarmen und Sternentstehung aufklären.



HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

Im Innersten von M 51 (Kreis mit 1000 Lichtjahren Durchmesser) wird die Struktur der Galaxis durch Schallwellen beeinflusst, wie Hubble-Aufnahmen vermuten lassen – und nicht durch von der Schwerkraft angeregte Dichtewellen.





THE SCIENTIFIC PAPERS OF WILLIAM PARSONS, THIRD EARL OF ROSSE

Als Erster dokumentierte der dritte Earl of Rosse, William Parsons, im Jahr 1845 die Spiralstruktur von M 51. Ihm stand das damals weltweit größte Teleskop zur Verfügung, ein 72-Zoll-Reflektor – das entspricht einer Öffnung von 1,83 m.



EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY



EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY



HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

Galaktischer Tanz im Sternbild Großer Hund: Die Schwerkraft der Galaxie NGC 2207 (großes Bild, links) zerrt an IC 2163. Entlang der Spiralarme bilden sich dichte Sternentstehungsregionen (rosafarbene Punkte).



HUBBLE HERITAGE PROJECT / NASA

DREHSCHEIBEN

Noch wahren die faszinierenden Spiralarme der Welteninseln das Geheimnis ihrer Entstehung. Doch der Wettstreit um die richtige Erklärung ist in vollem Gange.

>> Jack Lucentini

Alar Toomre ist verärgert. Während seiner langen und erfolgreichen Karriere als Professor für Angewandte Mathematik am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, USA, hat er viel zum heutigen Verständnis der Spiralgalaxien beigetragen. Doch ein Fehlschlag wurmt ihn: Es ist ihm mit seinen Computermodellen nicht gelungen, die ungewöhnlich symmetrische Spiralstruktur der für ihre Schönheit bekannten Galaxie M 51 zu enträtseln. Seine Vermutung: Sie verdankt ihre Existenz den von einer Nachbargalaxie ausgeübten Gezeitenkräften.

»Dass die Schwerkraft die Ursache für die Entstehung von Spiralmustern in Galaxien ist, wurde bereits in den letzten Jahrzehnten klar«, so der Galaxienexperte. »Doch einige Einzelheiten sind nach wie vor unverstanden. Die größten Probleme bereitet mir die Gestalt von M 51.«

Die charakteristischen Spiralmuster zieren etwa zwei Drittel aller Galaxien – so auch unsere Milchstraße. Wie aber entstehen diese Strukturen? Bis heute kennen Astronomen die Antwort nicht. Und dies zu einer Zeit, da sich die Forschung längst so entfernten und abenteuerlichen Fragestellungen wie denen nach den Vorgängen in der ersten Sekunde des Universums zugewandt hat. »Es dürfte sich um eine der ältesten ungelösten Fragen der Astronomie handeln«, urteilt der Stellardynamiker Jerry Sellwood von der Rutgers University, New Jersey. Andere Forscher wie Toomre halten die Frage im Wesentlichen für geklärt, haben allerdings gänzlich verschiedene Antworten gefunden.

So entstanden in den letzten Jahren völlig neue, faszinierende Theorien. Sie reichen von der Hypothese, dass sich die Spiralarme wie im Wind flatternde Fahnen ständig neu bilden, bis hin zur An- >



Die Vielfalt der Strukturen in Scheibengalaxien lässt sich wahrscheinlich nicht mit einer einzigen Theorie erklären. NGC 2613 (10. Größe) im Sternbild Kompass besitzt eine Vielzahl kurzer unterbrochener Arme, wie sie sich auch in den Simulationen der Scheiben frei stehender Galaxien zeigen.



Die dicken Spiralarme und der schwache Balken von M 83 übernehmen möglicherweise Drehimpuls von Sternen und Gas, sodass diese langsam in Richtung auf das Zentrum der Galaxie absinken.

> nahme, dass eine spiralförmige Galaxie nur ein Zwischenstadium beim Zerfall der Welteninsel in ungeordnete Klumpen darstellt.

Die ersten Schritte

Im Jahre 1845 erkannte der irische Earl of Rosse als Erster die Spiralstruktur einer Galaxie, nämlich die des Messier-Objekts Nummer 51 (M 51), später Whirlpool-Nebel genannt. Solche Objekte, schrieb der Earl, weckten in ihm »den brennenden Wunsch, die Gesetze zu ergründen, die dieser wunderbaren Ordnung zugrunde liegen.« Zu seiner Zeit konnte man nur darüber spekulieren, ob Nebel glühende Gasansammlungen oder Sternhaufen sind und ob sie innerhalb oder weit abseits unserer Milchstraße liegen.

Erst in den 1920er Jahren erkannten Forscher die wahre Natur der Galaxien, die weit entfernte, riesige Ansammlungen von Sternen ähnlich unserer eigenen Milchstraße sind. Als die Astronomen in den 1950er Jahren das Problem der Spiralarme erstmals systematisch angingen, erlitten sie jedoch zahlreiche Fehlschläge. Eine Hypothese etwa lautete, dass Magnetfelder die beobachteten Strukturen hervorbrächten. Wie ihnen das gelingen sollte, konnten die Befürworter der Theorie nie befriedigend erklären.

Eine andere naheliegende Idee war, dass die Spiralarme aus Materie bestehen, im Grunde also eine lange Aufreihung von Sternen sind. Wenn die Galaxie nun rotiert – dass Galaxien dies tun, war seit langem bekannt –, dann würden sich die Arme und mit ihnen die Sterne ebenfalls um das Zentrum drehen. Diese Rotation erfolgt jedoch nicht gleichförmig, sondern »differenziell« (siehe Glossar): Materie nahe dem Zentrum der Galaxie benötigt für einen Umlauf eine geringere Zeit als Sterne und Wolken weiter außen. Nach wenigen Umdrehungen würden sich Spiralarme aus Materie also immer enger aufwickeln, bis sie nach wenigen Umdrehungen nicht mehr als solche erkennbar wären, wie der schwedische Astronom Bertil Lindblad in den späten 1950er Jahren feststellte. Er schlug daher vor, dass nicht etwa bestimmte Materieansammlungen die Spiralarme bilden, sondern dass diese räumliche Muster sind, die zu verschiedenen Zeitpunkten aus verschiedenen Sternen gebildet werden. Auch wenn er deren Entstehung nie erklären konnte, befruchtete seine Idee doch die wissenschaftliche Diskussion.

Chia C. Lin und Frank Shu vom MIT verfolgten in den 1960er Jahren eine Hypothese, wonach die Spiralarme Dichtewellen (siehe Kasten Seite 22) darstellen. In einer Galaxie, so die Theorie, fächern Dichtewellen spiralförmig auf – wie Wasserwellen, die ein im Kreis fahrendes Boot hinter sich lässt. Die sie antreibende Kraft ist die Gravitation der Galaxie. Sobald sich ein Spiralarm einem Stern nähert, zieht er diesen aufgrund seiner höheren Massendichte an sich heran und hält ihn für eine Weile in seinem Einflussbereich fest. Ist der Spiralarm über den Stern hinweggezogen, läuft dieser weiter auf seiner Bahn, bis ihn der nächste Arm einholt. Dabei bleiben Sterne längere Zeit innerhalb der Spiralarme als außerhalb und tragen so zu deren Bestehen und Leuchtkraft bei.

Auch Wolken aus interstellarem Gas gelangen in die Spiralarme. Werden sie

GLOSSAR

Differenzielle Rotation: Innere galaktische Regionen rotieren schneller um das Zentrum als weiter außen liegende. Nach wenigen Drehungen müssten sich Spiralarme aufwickeln, wenn sie aus immer denselben Sternen bestehen.

Doppler-Verschiebung: Entfernt sich ein Himmelskörper von uns, so erscheint sein Licht langwelliger (»röter«), als es wirklich ist – es ist (Doppler-) rotverschoben. Nähert er sich uns, erscheint es kurzwelliger (»blauer«) – es ist blauverschoben. Da man aus den Spektrallinien der meisten Sterne ableiten kann, in welcher Farbe diese leuchten, lässt sich mithilfe der gemessenen Verschiebung ihre Bewegung relativ zur Erde feststellen.

Drehimpuls: Der Drehimpuls eines Sterns beschreibt seine Rotation um das galaktische Zentrum. Je schneller, massereicher und entfernter ein Stern vom Zentrum ist, desto höher ist sein Drehimpuls. Wirkt er durch seine Schwerkraft auf einen anderen Stern, kann er dabei auch einen Teil seines Drehimpulses übertragen und so die Umlaufbahn des anderen Sterns verändern.



Der abrupte Knick im östlichen Arm (links der Mitte) von M 100 könnte von einer Wechselwirkung herrühren, wie sie auch M 51 durch ihren Begleiter erfährt.

ALLE FOTOS: EUROPEAN SOUTHERN OBSERVATORY

dabei verdichtet, kollabieren sie manchmal zu Gaskugeln. Wenn darin das kosmische Feuer der Kernfusion zündet, beginnen sie als Sterne zu leuchten. Die hellsten dieser jungen Sterne strahlen in einem bläulichen Licht, verbrauchen dabei aber sehr schnell ihren Brennstoff. So sterben sie noch im Innern der Spiralarme als Supernovae und lassen diese noch deutlicher hervortreten. »Die jungen Sterne sind wie die Gischt auf dem Kamm einer Wasserwelle«, erläutert Shu. »Die Schaumkronen befinden sich immer am höchsten Punkt – nicht, weil sie mit der Welle reiten, sondern weil sie dort, wo sie erscheinen, in kurzer Zeit entstehen und gleich wieder vergehen.«

In eine immer enger gewickelte Spirale verformt sich eine geradlinige Struktur in einer galaktischen Scheibe. Der Grund für dieses Phänomen ist die differenzielle Rotation (Glossar Seite 20), die in fast jeder Galaxie zu beobachten ist. Damit war bereits vor über einem halben Jahrhundert klar, dass die Spiralarme im Verlauf eines Galaxienlebens nicht aus immer denselben Sternen bestehen können.

Die sichtbare Struktur ist dabei – ähnlich wie bei Schaumkronen – ungeordneter als die ihr zugrunde liegende Welle, da sie anfälliger für Turbulenzen in der Galaxie ist. »Die jungen Sterne sind lediglich der am leichtesten wahrzunehmende Teil der Welle, sie gehören aber nicht zur darunter liegenden Struktur«, erklärt Shu. »Aus neuen Infrarotbeobachtungen wissen wir, dass in Wahrheit die weitaus zahlreicheren alten Sterne in der Scheibe das Rückgrat der Spiralarmstruktur ausmachen.«

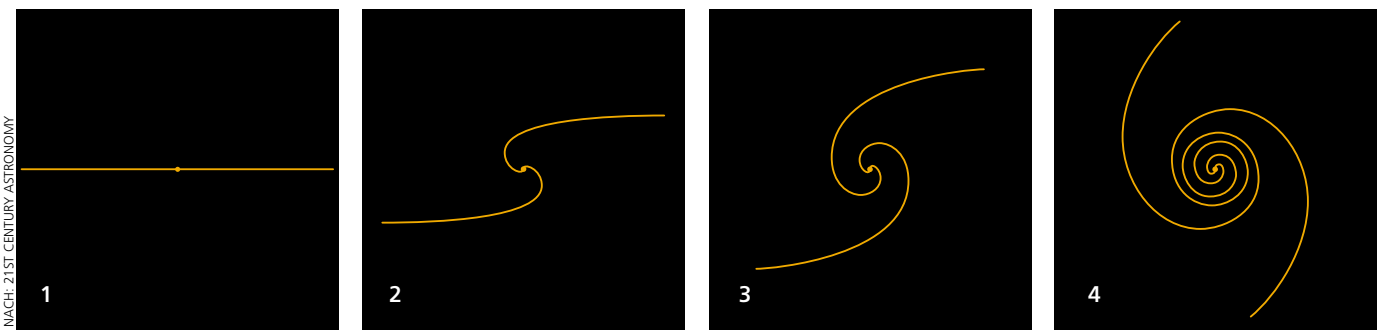
Die Theorie von Lin und Shu beseitigt zwar das Aufwickeldilemma der Spiralarme, bleibt jedoch eine klare Antwort darauf schuldig, welche Kraft die Dichtewellen überhaupt hervorruft. 1960 berechnete Lindblads Sohn Per Olof mit einem Computer erstmals die Bewegung der Sterne in einer Galaxie. Und erhielt ein erstaunliches Ergebnis: Die Sterne ordneten sich auf dem Bildschirm zu Spiralmustern an, die jedoch schnell wieder verschwanden. Zwar lösten die Simulationen das Rätsel nicht, warfen aber eine wichtige Frage auf: Sind Spiralen nur vorübergehende Phänomene, die nach kurzer »Blütezeit« wieder verschwinden?

Lin und Shu beantworteten diese mit einem klaren Nein, woraufhin sich eine heute noch andauernde Debatte um die Lebensdauer von Spiralarmen entspann. Für Diskussionsstoff sorgte vor allem ihre Behauptung, dass grundlegende Eigenschaften wie die Anzahl der Spiralarme einer Galaxie während langer Phasen eines Galaxienlebens gleich bleiben – unabhängig von lokalen Veränderungen.

Denn das Muster einer Galaxie, so die Begründung von Shu und Lin, bestehe hauptsächlich aus stehenden Dichtewellen (Kasten Seite 24). Während gewöhnliche Wellen keine beständigen Muster ausbilden, sondern umhertanzen und schließlich wieder verschwinden, bleiben stehende Wellen lange Zeit deutlich sichtbar. In Galaxien seien es also stehende Dichtewellen, die die Spiralarme so auffällig in Erscheinung treten lassen. Für diese Vermutung spricht noch ein weiteres Argument: Stehende Wellen entstehen vor allem dort, wo auch räumliche Symmetrien vorhanden sind – und tatsächlich haben viele Galaxien die Form symmetrischer zweiarmiger Spiralen.

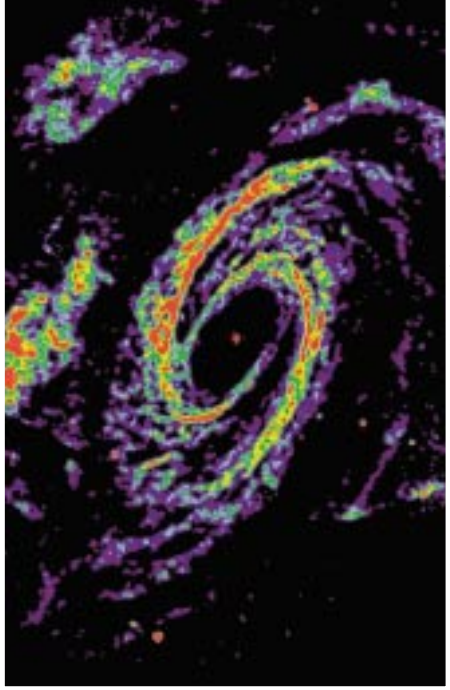
Konstant ist nur der Wandel

Alar Toomre hat sich von den Überlegungen seines MIT-Kollegen Lin nie überzeugen lassen. Die Diskussionen zwischen den beiden, deren Büros wenige Schritte voneinander entfernt auf demselben Gang liegen, dauern seit Jahrzehnten an. »Ich war ein junger Dozent hier«, erinnert sich Toomre, »als Lin 1961 von einer Astronomietagung in Princeton mit der Idee zurückkehrte, dass Galaxienscheiben solche Schwingungsmoden besäßen«, stehende Wellen also. »Für einen Bruchteil der Zeit trifft diese >



NACH: 21ST CENTURY ASTRONOMY





MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON GARY L. STEVENS UND NRAO (LINKES BILD) UND DAVID WESTPFAHL (NEW MEXICO INSTITUTE OF MINING AND TECHNOLOGY)

M 81 im Großen Bären – mit ihren ausgeprägt symmetrischen Armen eine weitere Spiralgalaxie wie aus dem Lehrbuch – ist möglicherweise auf ihren Begleiter angewiesen (NGC 3077, hier nicht abgebildet), der regelmäßig ihre Dichtewellen anregt. Messungen des VLA-Radioteleskops stützten diese Vorstellung: Mit ihm untersuchten Wissenschaftler die Bewegung atomaren Wasserstoffs in der Scheibe von M 81 (Falschfarbenbild rechts).

> Überlegung wahrscheinlich sogar zu, vielleicht in 5 bis 15 Prozent der Fälle.«

Dennoch erschienen Toomre die meisten Spiralgalaxien ungeordneter und unsymmetrischer, als es Systeme mit stehenden Wellen seiner Ansicht nach sein sollten. Stehende Wellen, so folgerte er, existierten in den meisten Galaxien nur kurz. In den 1960er Jahren präsentierte er daher einen alternativen Vorschlag. Angenommen, die Scheibe einer Galaxie enthält einen Klumpen Materie. Dieser zieht mit seiner Schwerkraft weitere Materie an, auf Grund der Rotation um das Zentrum der Galaxie jedoch nicht direkt in seine Richtung. Dadurch verteilt sich die Materie in der Umgebung des Klumpens auf eine Weise, dass man sie als Teil eines Spiralarms auffassen kann. Diese Materieansammlung erzeugt ihrerseits eine noch größere Spiralarmstruktur. Da die Materie in jeder Galaxie »klumpig« ist, können so viele Spiralarme entstehen. Allerdings wären diese wegen der zufälligen Verteilung der Klumpen nicht notwendigerweise symmetrisch und miteinander verbunden wie im Fall stehender Wellen.

Wenn es Wellen gibt, so glaubt Toomre, dann sind diese in den meisten Fällen einem andauernden Wandel unterworfen. Die voranschreitenden Dichtewellen selbst sind es, die die Sterne aus ihren schönen und regelmäßigen Bahnen herausrütteln. Auf diese Weise ersetzen neue Spiralen fortwährend die alten, sich auflösenden Strukturen. In einem galaktischen Jahr würde sich das Erscheinungsbild einer Galaxie also dramatisch ändern. In diesem Zeitraum von etwa 240 Millionen Erdenjahren läuft die Sonne einmal um das Zentrum der Milchstraße. Lin und Shu glauben dagegen, dass die Strukturen über zehn galaktische Jahre oder länger stabil bleiben.

Dichtewellen

Stellen Sie sich eine abgefeuerte Gewehrkugel vor: Die von der Kugel verdrängte Luft prallt auf die Luft in der Umgebung und verdichtet sie. Diese dehnt sich anschließend wieder aus und verdichtet dabei die noch weiter außen liegende Luft. Das Ergebnis ist eine Welle von verdichteter Luft, eine Dichtewelle, die sich um die Gewehrkugel ausbreitet.

Eine galaktische Dichtewelle ist ein ähnliches Phänomen: Sie erhöht die Masse in einem bestimmten Raumbereich, indem sie mit Hilfe der Schwerkraft darin mehr Sterne als üblich zusammenrückt. Zieht die Welle weiter, nimmt die Dichte in diesem Gebiet allmählich wieder ab, so lange, bis die nächste Wellenfront eintrifft.

Für die Sterne selbst ist die galaktische Dichtewelle nur eine vorübergehende Störung: Sie verfolgen im Wesentlichen weiter ihre gewohnte Bahn um das galaktische Zentrum. Durch die Dichtewelle werden sie nur ein wenig vom Weg abgebracht, um später wieder auf ihre alte Position zurückzukehren.

Während der Wettstreit der Theorien andauert, hat sich inzwischen wenigstens ein Konsens darüber herausgebildet, wodurch Spiralwellen angeregt werden. Viele Wissenschaftler sind der Meinung, dass nahezu jede Störung in einer galaktischen Scheibe Wellen auslösen kann. Eine Spiralgalaxie entsteht aus einer rotierenden Gaswolke, die unter dem Einfluss ihrer eigenen Schwerkraft zu einer pfannkuchenförmigen Scheibe abflacht. Auch die Materie in der Scheibe rotiert, die Fliehkräfte verhindern also den Kollaps zu einer dichten Kugel.

In dieser Scheibe können sich klumpige Materieansammlungen bilden, die das System durch ihren Schweresog aus dem lokalen Gleichgewicht bringen. Störungen können ihren Ursprung aber auch außerhalb haben – etwa in den Gezeitenkräften einer Nachbargalaxie. Nach Toomres Ansicht ist dies die Erklärung für symmetrische Galaxien wie M 51. Viele Galaxien besitzen in ihrem Inneren zudem rotierende, balkenförmige Strukturen, die ebenfalls Wellen anregen können.

Ob stehende Wellen oder Materieklumpen – beide Theorien beschreiben, wie anfänglich kleine Störungen sich zu weitläufigen Mustern entwickeln. Uneinigkeit herrscht aber über den Mechanismus sowie die Natur und Beständigkeit dieser Strukturen. Und in den letzten Jahren scheinen die Modelle ohnehin in eine Sackgasse geraten zu sein.

Dies lässt Raum für unkonventionelle Vorschläge wie den von Xiaolei Zhang vom Naval Research Laboratory. Ende der 1980er Jahre stand die damalige Doktorandin an der University of Cali- >

Dreht sich NGC4622 wirklich rückwärts?

Die Entdeckung einer »Rückwärtsspirale«, bekannt gegeben durch eine Wissenschaftlergruppe im Januar 2002, könnte die etablierten Theorien zur Entstehung von Spiralgalaxien durcheinander bringen. Wenn die Beobachtungen nämlich zutreffen, »dann ist die Theorie der Spiralarme weiter von der Wirklichkeit entfernt, als wir dachten«, so der Stellardynamiker Jerry Sellwood. Doch er und viele andere Forscher zweifeln die Existenz von Spiralgalaxien an, deren Arme sich »rückwärts« drehen.

Die gängigen Theorien der Galaxienentwicklung sagen voraus, dass die differenzielle Rotation Spiralarme hervorbringt, deren Enden entgegen der Drehrichtung der Galaxie zeigen – wenn Sie Milch in Ihrem Kaffee umrühren, können Sie Ähnliches beobachten.

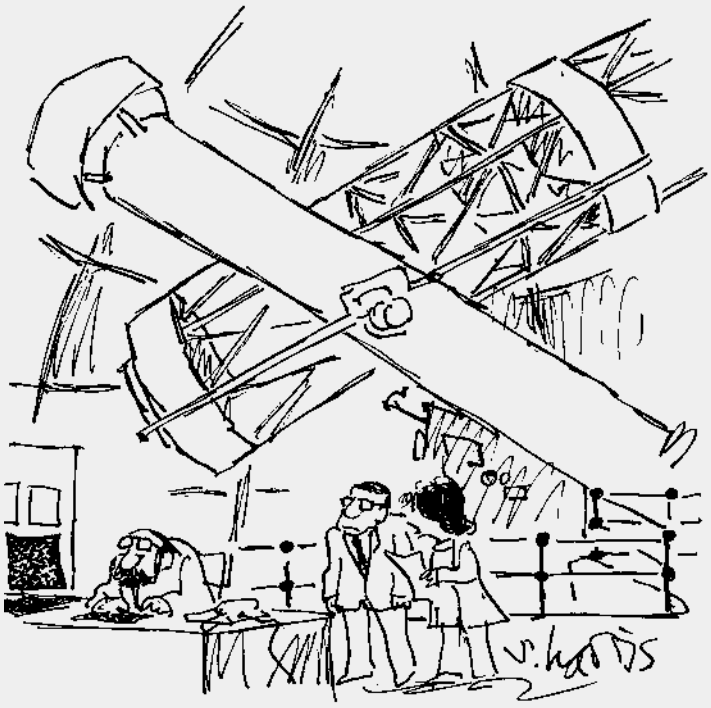
Aber bei NGC4622 im Kentaur ist es gerade andersherum, behaupten Gene G. Byrd und Ronald J. Buta von der University of Alabama und Tarsh Freeman vom Bevill State Community College, ebenfalls in Alabama, USA. Die beiden äußeren und ausgeprägtesten Arme scheinen in Drehrichtung gebogen zu sein. »Dies ist wahrscheinlich die einzige bekannte Galaxie, die deutlich einen nach vorne gerichteten Arm zeigt«, kommentiert Bruce Elmegreen vom IBM Watson Research Center die Entdeckung.

Eine gesicherte Erklärung für das Phänomen haben die Forscher allerdings nicht, nur eine Vermutung: Möglicherweise ist ein **Zusammenstoß mit einer Nachbargalaxie** die Ursache. »Im Zentrum von NGC4622 befindet sich ein Staubstreifen, der den Kern in der Mitte teilt«, erklärt Buta. »Das könnte ein Indiz dafür sein, dass in dieser Galaxie ein Verschmelzungsprozess stattgefunden hat.« Vielleicht gerieten sich die beiden Welteninseln auch nur ein wenig zu nahe, wodurch die Schwerkraftwechselwirkung die Drehrichtung der Spiralarme von NGC4622 beeinflusste.



GENE BYRD, RONALD BUTA, TARSH FREEMAN UND NASA

Nur für Eingeweihte erkennbar ist ein Staubstreifen in dieser Hubble-Aufnahme von NGC4622 (12. Größe), der vor dem kompakten Kern vorüberläuft. Einigen Astronomen gilt er als Hinweis darauf, dass die Galaxie »rückwärts« rotiert, dass also die Enden der Spiralarme in Drehrichtung zeigen.

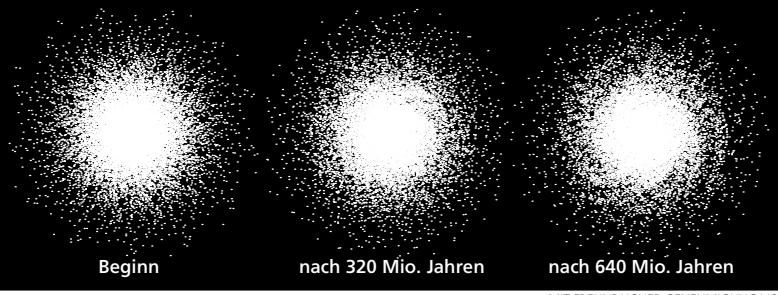


»DR. RENLY GLAUBT, DASS IM MUSTER DER GALAXIENHAUFEN DIE ANTWORT AUF UNSERE FRAGE VERSTECKT IST. IHM FEHLEN NUR EINIGE BUCHSTABEN.«

NGC4622 ist kein Einzelfall. Es sind schon mehrere Galaxien bekannt, die angeblich rückwärts laufende Spiralarme aufweisen, wie etwa NGC3124 oder die »Blackeye«-Galaxie NGC4826. Dennoch bleibt die Forschergemeinde skeptisch, ob es tatsächlich Rückwärtsspiralen gibt. Im speziellen Fall von NGC4622 halten viele Wissenschaftler die Methode, die für die Bestimmung der Drehrichtung angewendet wird, für unzuverlässig.

Deren Prinzip ist zwar einfach: Sieht man die Scheibe unter einem Winkel, dann ermittelt man mit Hilfe des Doppler-Effekts (siehe Glossar Seite 20) zunächst, ob sich ihr rechter oder ihr linker Rand auf uns zu bewegt. Anschließend muss man dann noch in Erfahrung bringen, ob man auf die Oberseite oder auf die Unterseite der Scheibe blickt. Dabei hilft ein **Staubstreifen** um die galaktische Scheibe: Dort, wo er deren Licht abschattet, weist die Galaxie in Richtung des Beobachters. Doch um den Staubstreifen sicher nachweisen zu können, sollte NGC4622 stärker geneigt sein – sie weicht aber nur etwa zwanzig Grad von der Draufsicht ab.

Spiralarmstrukturen können spontan in einer rotierenden Scheibe aus Sternen entstehen. In einem Computermodell von Xiaolei Zhang führt dies sogar zu langlebigen Eigenschaften wie den beiden Spiralarmen in der inneren Hälfte der Scheibe.



MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON XIAOLEI ZHANG

> fornia eines Tages beeindruckt vor der Aufnahme einer Spiralgalaxie im Flur des Astronomieinstituts. »Mein erster Gedanke war: Das Zeug muss eigentlich auf Spiralbahnen nach innen fallen«, sagt sie. Ein Professor erklärte ihr, dass der Drehimpuls (siehe Glossar auf Seite 20) der Sterne das verhindere. Zhang suchte dennoch nach Erklärungen, wie Sterne ihren Drehimpuls abgeben und in Richtung des galaktischen Zentrums sinken könnten.

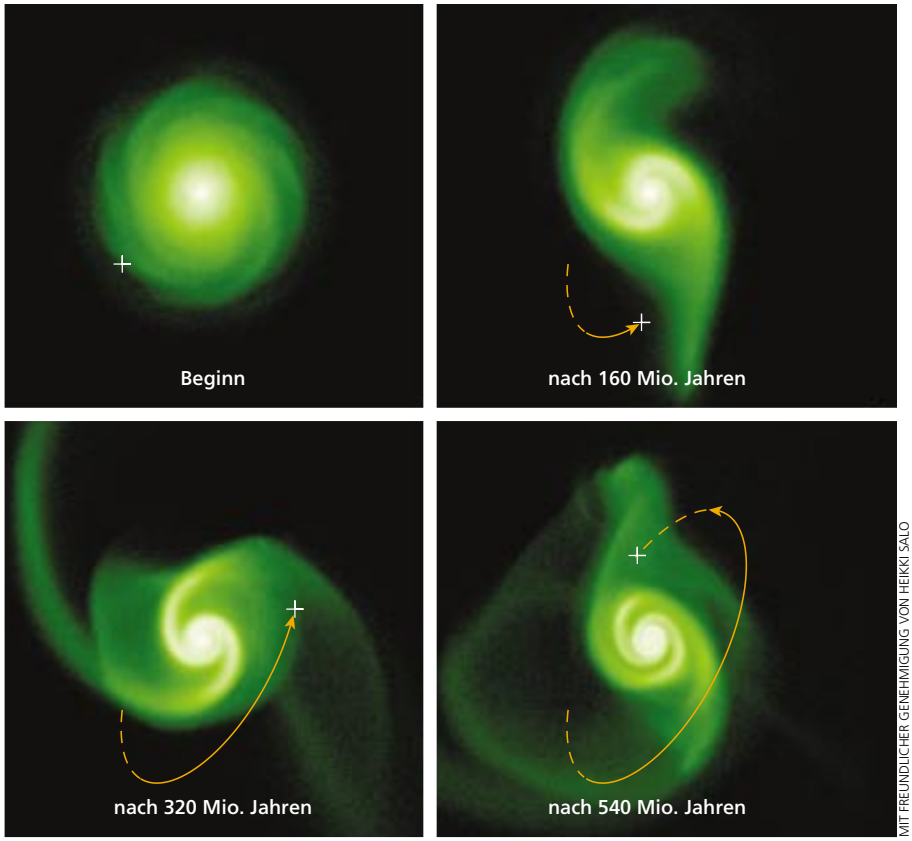
Einige Jahre später veröffentlichte sie ihre Ideen in drei Artikeln für das Astrophysical Journal. Darin behauptete sie, die Spirale selbst sei der Weg, den die Sterne nehmen. Demnach geben die Sterne über einen weiten Bereich der Scheibe einen Teil ihres Drehimpulses an die Spiralarme ab. Als Folge sinken sie jedes Mal, wenn sie den Wellenkamm kreuzen, ein wenig weiter in Richtung Zentrum. Die Welle befördert den Drehimpuls in die äußere Scheibe, deren Sterne dadurch noch weiter nach außen driften. Der Innenbereich verklumpt schließlich zu einem strukturlosen Brei, wie er auch in elliptischen Galaxien zu beobachten ist.

Kosmische Unordnung

Diese Hypothese, so Zhang, erklärt zwanglos vieles, was im Rahmen anderer Erklärungsmuster eher seltsam wirkt. So haben jüngste Beobachtungen mit dem Hubble-Weltraumteleskop und mit terrestrischen Instrumenten gezeigt, dass der Anteil elliptischer Galaxien heute größer ist als in der Vergangenheit, wobei die Gesamtzahl aller Galaxien etwa konstant blieb. Theorien wie die von Zhang lassen sich allerdings erst mit Hilfe des James-Webb-Weltraumteleskops testen; im Jahr 2010 soll der Hubble-Nachfolger im Orbit stationiert werden.

Doch Zhangs Überlegungen gehen noch weiter. Alle physikalischen Systeme, so erklärt sie, streben einem Zustand höchster Unordnung zu – im Fachjargon Entropie. Das gilt auch für Galaxien. Deren Spiralmuster, die ja selbst geordnete Strukturen sind, helfen ihnen paradoxerweise dabei. Dieses überraschende Konzept geht auf die kontroversen Ideen des

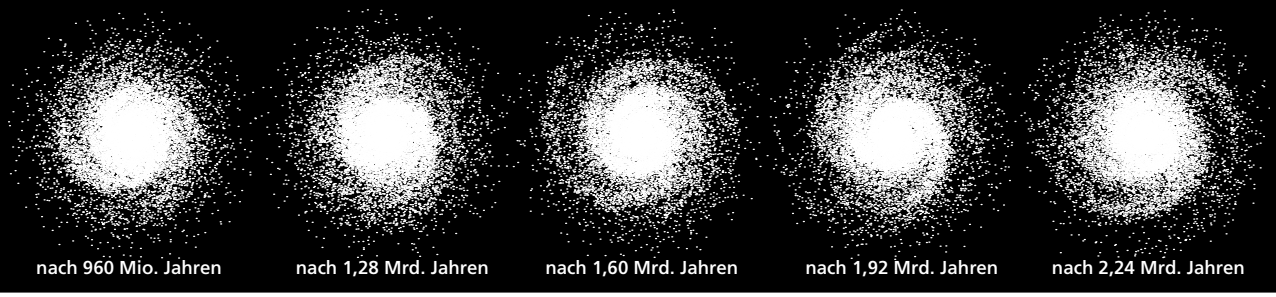
Was geschieht, wenn zwei Galaxien eng aneinander vorbei fliegen? In diesem Computermodell des M 51/NGC 5195-Systems im Sternbild Jagdhunde wird die Scheibe von M 51 (grün) durch die Schwerkraft von NGC 5195 (Kreuz) auseinander gezogen und wickelt sich dann zu Spiralarmen auf. Heikki Salos Modell lässt jedoch auch die Möglichkeit zu, dass M 51 bereits vor der Begegnung mit seiner Satellitengalaxie Spiralen besaß. Die ellipsenförmigen Linien zeigen deren Bahn um M 51.



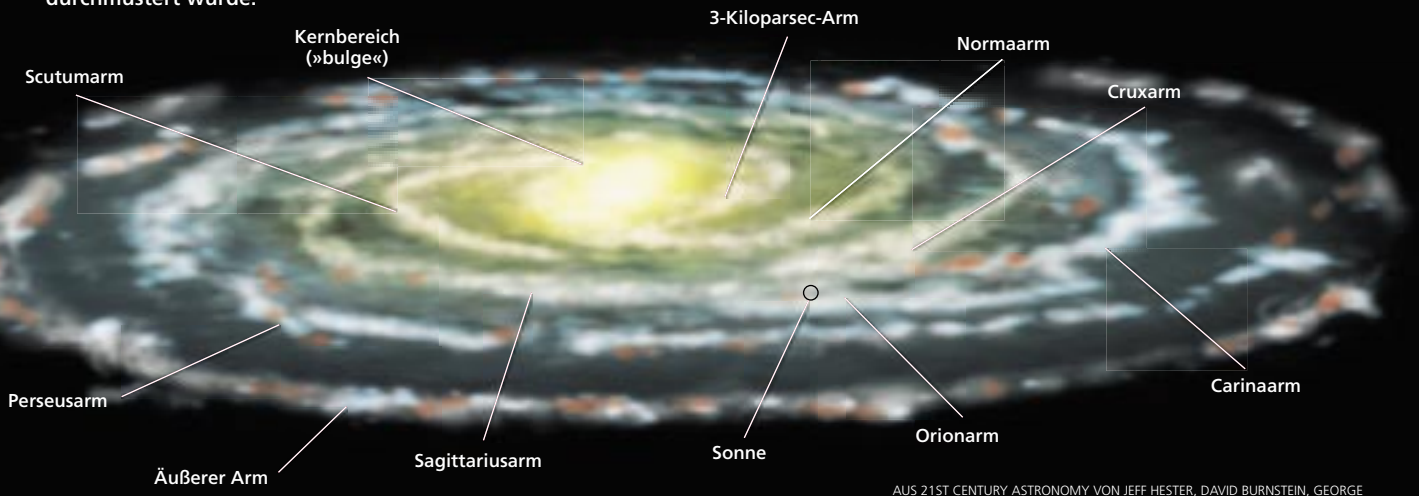
MIT FREUNDLICHER GENEHMIGUNG VON HEIKKI SALO

Stehende Wellen

Auf dem Meer scheinen Wellenberge über das Wasser zu laufen. Anders bei stehenden Wellen: In regelmäßigen Abständen haben sie unbewegliche »Knoten«, an denen sich das Wasser weder hebt noch senkt. Zwischen benachbarten Knoten aber kommt es zu einem steten Wechsel von Wellenbergen und -tälern. Die Berge laufen nicht davon, sondern verwandeln sich an Ort und Stelle in Täler und wieder zurück. Solche Muster entstehen, wenn auf ein Hindernis zulaufende Wellen von den dort reflektierten Wellen so überlagert werden, dass sich Wellentäler und -berge gegenseitig verstärken. Hinter Rennbooten sind stehende Wellen zu beobachten, hier dient der äußere Rand des Kielwassers als Hindernis. Stehende Dichtewellen in Galaxien lassen sich auf die Reflektion an interstellarer Materie zurückführen.



Sähen wir unsere Milchstraße von außerhalb, so erblickten wir viele dünne, relativ eng gewickelte Spiralarme und einen schwachen Balken im Inneren der Galaxis. Diese Illustration beruht auf jahrzehntelangen Beobachtungen, bei denen unter anderem Radiokarten von atomarem Wasserstoff erstellt wurden und der innere Sphäroid der Milchstraße (»bulge«) mit Hilfe des Gravitationslinseneffekts durchmustert wurde.



AUS 21ST CENTURY ASTRONOMY VON JEFF HESTER, DAVID BURNSTEIN, GEORGE BLUMENTHAL, RONALD GREELEY, BRADFORD SMITH, HOWARD VOSS UND GARY WEGNER. MIT GENEHMIGUNG DES VERLAGS, W. W. NORTON & COMPANY, INC.

belgischen Nobelpreisträgers für Chemie, Ilya Prigogine, zurück. Prigogine argumentierte, dass viele physikalische Systeme in einem Zustand weit außerhalb des Gleichgewichts geordnete Strukturen ausbilden, um mit deren Hilfe maximale Unordnung herzustellen. So führt etwa ein hoher Temperaturunterschied zwischen oberer und unterer Erdatmosphäre zu geordneten Luftströmen. Diese durchmischen die Luftmassen und verringern so die Temperaturdifferenz. Galaktische Spiralen organisieren sich in ähnlicher Weise, vermutet Zhang: Die Sterne in den Armen einer Spiralgalaxie versuchen, sich auf das Zentrum der Galaxie zuzubewegen.

Auch der Stellardynamiker Sellwood entwickelte vor kurzem noch eine weitere Hypothese, die einerseits die Spiralstruktur zu erklären versucht, andererseits aber nicht davon ausgeht, dass Störungen durch Masseklumpen angeregt werden. Dieser Mechanismus reiche nicht aus, so Sellwood, um großräumige Wellen anzuregen. Sein Vorschlag beruht auf der Drehimpulsverteilung der Sterne. Gemeinhin nimmt man an, dass die Drehimpulse der Sterne in einer Galaxie gleich verteilt sind. Tatsächlich, so Sellwood, könnte eine Galaxie jedoch eine oder mehrere Drehimpuls-»Lücken« haben – einen Mangel an Sternen mit bestimmten Drehimpulsen.

In der Computersimulation wird deutlich, dass »diese Lücken die Scheibe destabilisieren und ein Spiralmuster erzeugen«, so Sellwood. An bestimmten Stellen tritt die Umlauffrequenz der Spirale zudem mit der Umlauffrequenz der Sterne in Resonanz: So wie eine Welle einem Surfer einen großen Schwung geben kann, wenn beide die gleiche Geschwindigkeit haben, treibt dieser Vorgang die Sterne auseinander. Dabei entstehen neue Lücken, die weitere Spiralstrukturen erzeugen, und schließlich kommt es zu komplexen, sich stets erneuernden Mustern wie denen einer im Wind flatternden Fahne. Um herauszufinden, ob er Recht hat, muss Sellwood auf die präziseren astrometrischen Daten von »Gaia« warten. Dieser Esa-Satellit soll jedoch erst im Jahr 2010 seine Arbeit aufnehmen.

Shu dagegen glaubt, dass die Erforschung der Spiralgalaxien wissenschaftliches Neuland erschließen könnte. Da sich einige Bereiche von Spiralgalaxien in die eine Richtung bewegen, andere jedoch in die entgegengesetzte, könnte der aufaddierte Drehimpuls der gesamten Struktur vielleicht null ergeben, überlegt er. Dies wiederum würde bedeuten, dass die Spiralstrukturen aus sich selbst heraus entstehen, ohne äußeren Antrieb.

Das wäre in der Tat etwas Neues. Die Wissenschaft hat gerade erst begonnen, sich mit solch erstaunlichen Phänomenen herumzuschlagen. Sogar das gesamte Universum könnte auf diese Weise entstanden sein, spekuliert Shu. »Manchmal«, sinniert der Astronom, »gibt es vielleicht doch etwas umsonst.« <<

Der in New York lebende Wissenschaftsjournalist **Jack Lucentini** ist auf die Themen Astronomie, Weltraumforschung und Computer spezialisiert.