



Polarisierte Radiostrahlung: Rainer Beck, MPIfR Bonn; Grafik: U. Klein, AlfA Bonn; optisches Hintergrundbild: Kitt-Peak-Observatorium, T. A. Rector, Universität Alaska Anchorage, und H. Schweiker, WIYN und NOAO / AURA / NSF / SuW-Grafik

Verdrillte Magnetfeld-Schleife in der Galaxie IC 342

Magnetfelder existieren überall im Universum. Bisher war allerdings wenig darüber bekannt, ob sie bei der Entwicklung von Galaxien eine Rolle spielen. Neue Ergebnisse über IC 342 vom Autor dieses Kurzberichts geben nun Hinweise darauf, dass sie sogar eine wichtige Funktion haben.

Ein ideales Mittel zur Messung von kosmischen Magnetfeldern sind linear polarisierte Radiowellen. Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) waren die ersten, denen es damit gelang, Magnetfelder in Galaxien zu messen. Bereits im Jahr 1978 wiesen sie polarisierte Radiostrahlung von der Andromeda-Galaxie mit dem Radioteleskop Effelsberg

nach (siehe SuW 9/1979, S. 288). Und im Jahr 1989 wurde polarisierte Radiostrahlung von Galaxien dann erstmals mit dem Very Large Array (VLA) bei Socorro, New Mexico, gemessen.

Meine kürzlich veröffentlichte Forschungsarbeit über die Galaxie IC 342 gibt nun neue Hinweise auf die Bedeutung von galaktischen Magnetfeldern. Diese Galaxie

befindet sich etwa zehn Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt in Richtung des Sternbilds Giraffe am nördlichen Sternhimmel und ist nach M31, dem Andromedanebel, und M33, der Dreiecksgalaxie, die drittnächste Spiralgalaxie am Himmel. In einer langfristigen Beobachtungskampagne konnte ich einen umfangreichen Datensatz mit zwei der größten Radiotele-

Auf eine optische Aufnahme der Galaxie IC 342 mit dem Vier-Meter-Teleskop des Kitt Peak National Observatory in Arizona ist hier die polarisierte Radiostrahlung bei 6,2 Zentimeter Wellenlänge mit einer Winkelauflösung von 25 Bogensekunden aufgetragen. Sie ist zusammengesetzt aus einem Mosaik von fünf Einzelbildern mit dem VLA und dem 100-Meter-Radioteleskop Effelsberg. Das weiß umrandete Feld hat eine Ausdehnung von $0,27 \times 0,27$ Grad.

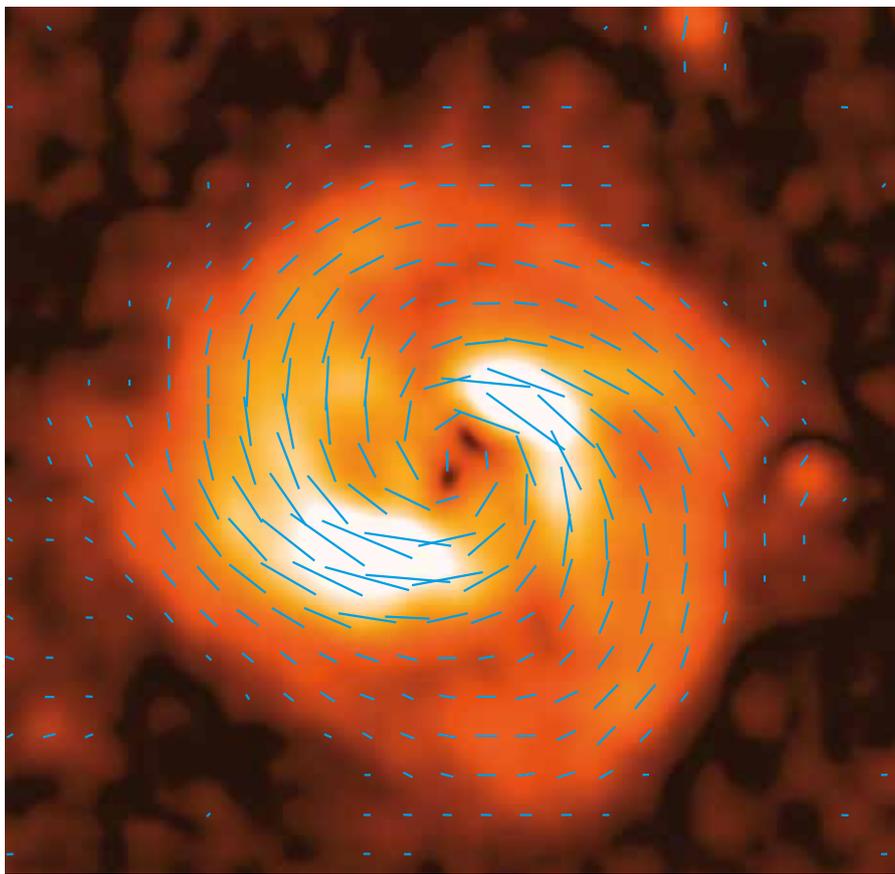
Das Bild zeigt die polarisierte Radiostrahlung der Galaxie IC 342 bei 6,2 Zentimeter Wellenlänge. Es wurde aufgenommen mit dem 100-Meter-Radioteleskop Effelsberg bei einer Winkelauflösung von drei Bogenminuten. Die Größe der Galaxie ist mit rund 0,5 Grad vergleichbar mit derjenigen des Vollmonds am Himmel. Die blauen Linien zeigen die lokale Orientierung des Magnetfelds.

skope der Erde in vier unterschiedlichen Wellenlängenbereichen zwischen 2,8 und 21 Zentimeter gewinnen. Die empfindlichste Karte entstand bei 6,3 Zentimeter Wellenlänge.

Die Magnetfeldstruktur lässt sich aus der Orientierung der polarisierten Radiowellen ableiten, die senkrecht zu derjenigen des Magnetfelds in der Galaxie ist. Die Beobachtungen bei mehreren unterschiedlichen Wellenlängen ermöglichten es zusätzlich, die Drehung der Polarisationsebene dieser Wellen herauszurechnen, die durch ihren Durchgang durch magnetische interstellare Materie entlang der Sichtlinie zur Erde erfolgt, die so genannte Faraday-Rotation.

Mit dem 100-Meter-Radioteleskop des MPIfR bei Effelsberg wurde in einer Messzeit von etwa 30 Stunden die gesamte und linear polarisierte Radiostrahlung bei der Wellenlänge 6,2 Zentimeter aus einem Gebiet von $0,75 \times 0,75$ Grad Größe aufgezeichnet (siehe Bild rechts oben). Hier wird die volle Ausdehnung der Galaxie im Radiobereich sichtbar. IC 342 zeigt ein spiralförmig geordnetes Magnetfeld von nahezu perfekter Symmetrie – ein starkes Indiz für die Aktivität eines galaktischen Dynamos (siehe SuW 9/2008, S. 34).

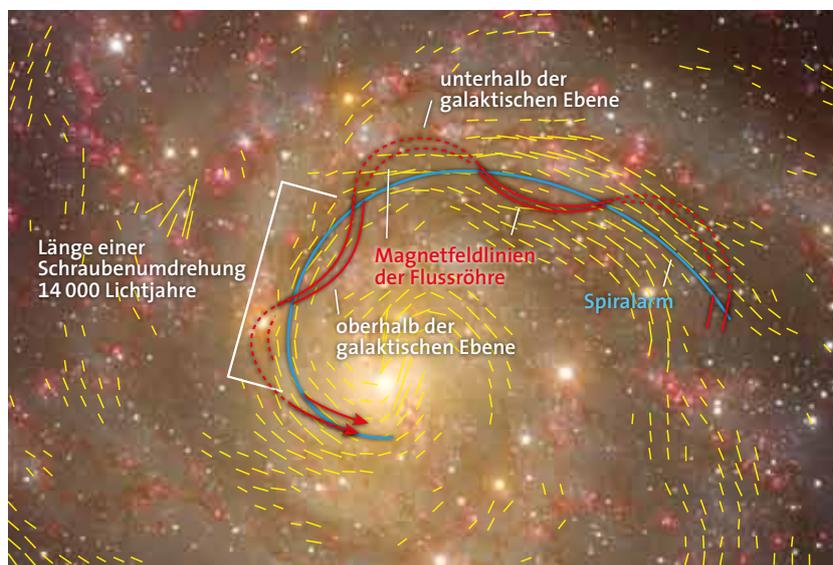
Mit dem VLA gelang bei der gleichen Wellenlänge ein Mosaik aus fünf Einzel-



Rainer Beck, MPIfR Bonn / SuW-Grafik

Dreidimensionale Magnetfeldstruktur

Um den durch die blaue Linie markierten Spiralarm wickelt sich ein magnetischer Fluss Schlauch. Gezeigt sind stellvertretend zwei Magnetfeldlinien. Der gestrichelte Teil liegt unterhalb des Spiralarms, der durchgezogene Teil oberhalb. In der Realität handelt es sich vermutlich um einen Fluss-Schlauch (englisch: flux rope). Wie dick dieser ist, bleibt allerdings unklar. Die Durchstoßpunkte der Magnetfeldlinien sind durch die Position der Maxima (zu uns gerichtet) und Minima (von uns weg gerichtet) in der Karte der Faraday-Rotation gegeben. Die Pfeile am Ende der Linien zeigen die Richtung des Magnetfelds an, das durch die Vorzeichen der Faraday-Rotation eindeutig gegeben sind. Die Amplitude der Helix, also Höhe und Breite, ist unsicher, jedoch vermutlich etwa so groß wie die Dicke des Spiralarms.



Polarisierte Radiostrahlung: Rainer Beck, MPIfR Bonn; Grafik: U. Klein, AIfA Bonn; optisches Hintergrundbild: Kitt-Peak-Observatorium, T. A. Rector, Universität Alaska Anchorage, und H. Schweizer, WYN und NOAO / AURA / NSF / SuW-Grafik

ZUM NACHDENKEN

Magnetische Flussröhren in Galaxien



Von der Sonne sind magnetische Flussröhren seit Langem bekannt. Der Nachweis dieser Gebilde mit einem räumlich begrenzten, schlauchförmigen Magnetfeld in fernen Galaxien ist eine erstaunliche Entdeckung. Nach Anzeichen für eine magnetische Schleife in M31 ist nun auch in IC 342 eine entdeckt worden. Diese Flussröhren können sich in einem elektrisch leitenden Medium bei Anwesenheit eines Magnetfelds ausbilden. In ihnen herrscht ein Kräftegleichgewicht zwischen dem Gasdruck p_G und dem magnetischen Druck p_M der Röhre. Während jedoch der Gasdruck isotrop wirkt, also in alle Richtungen gleichförmig, ist das beim magnetischen Druck nicht so. Er wirkt nur senkrecht zur Feldrichtung und verschwindet in der Richtung parallel zu den Feldlinien.

Aufgabe 1: Eine magnetische Flussröhre unterliegt einem äußeren Druck p_a durch das äußere Gas und einem inneren Druck, der vom Druck des eingeschlossenen Gases p_i und dem magnetischen Druck p_M aufgebaut wird. Im Gleichgewicht gilt daher: $p_a = p_i + p_M$. Dabei ist der magnetische Druck gegeben durch $p_M = \frac{1}{2} B^2 / \mu_0$, wobei B die Magnetfeldstärke darstellt und $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$ die magnetische Feld-

konstante ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg m s}^{-2}$). Herrscht also Druckgleichgewicht, so muss der Gasdruck im Inneren der Röhre kleiner sein als im umgebenden interstellaren Medium. Eine magnetische Flussröhre in einem Sonnenfleck habe eine Magnetfeldstärke $B_S = 0,1 \text{ T}$ ($1 \text{ T} = 1 \text{ kg A}^{-1} \text{ s}^{-2}$). Um wieviel kleiner, Δp_S , ist der innere Gasdruck?

Aufgabe 2: IC 342 zeigt typischerweise ein gerichtetes Magnetfeld von $B_{\text{IC342}} = 5 \mu\text{Gs}$ ($1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$). Wie verhält es sich hier mit der Druckdifferenz Δp_{IC342} ?

Aufgabe 3: Solange das Magnetfeld die Bewegung des Gases in der Flussröhre bestimmt, gilt: $p_i \ll p_M$. Angenommen, es sei $p_i = \rho_i k T_G / m_H = 0,001 p_M$, wie groß ist dann die Temperatur T_G des Gases in der Röhre? Gasdichte: $\rho_i = 10^{-24} \text{ g/cm}^3$, Boltzmann-Konstante: $k = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, Masse eines Wasserstoffatoms: $m_H = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **11. Dezember 2015** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe S. 109

feldern mit zusammen etwa $0,3 \times 0,3$ Grad Größe und etwa 24 Stunden Messzeit. Karten der beiden Teleskope Effelsberg und VLA wurden dann kombiniert, um die Magnetfeldstrukturen auf unterschiedlichen Winkelskalen gleichzeitig zu erfassen (siehe Bild S. 16). Das geordnete Magnetfeld ist in langen Filamenten überwiegend entlang der optischen Spiralarme dieser Galaxie ausgerichtet. Allerdings treten starke Magnetfelder auch zwischen den Spiralarmen auf. Wie der Dynamo dort effektiv arbeiten kann, wird zurzeit lebhaft diskutiert.

Durch Vergleich mit den VLA-Messungen bei der Wellenlänge 3,6 Zentimeter ließ

sich eine Karte der Faraday-Rotation berechnen. Der Drehwinkel ist ein Maß für die Stärke des Magnetfelds entlang der Sichtlinie. Zusammen mit der polarisierten Strahlung, welche die Projektion des Magnetfelds in der Himmelsebene zeigt, folgt daraus die dreidimensionale Feldstruktur.

Eine riesige schraubenförmig verdrillte Magnetfeldschleife verläuft entlang des nördlichen Hauptspiralarms in IC 342, wobei eine Schraubenumdrehung die Länge von etwa 14 000 Lichtjahren hat (siehe Grafik S. 17 unten). Ursache ist vermutlich die so genannte Parker-Instabilität einer Magnetfeldschleife, vorhergesagt von Eugene N. Parker von der Universität von Chicago.

Die Parker-Instabilität beschreibt das instabile Verhalten des magnetostatischen Gleichgewichts zwischen dem interstellaren Gas mit seinem magnetischen Feld und dem vertikalen Anteil des Gravitationsfelds der Galaxis.

Magnetische Flussröhren

Derartige Strukturen sind auf der Sonne wohl bekannt, wurden aber noch nie zuvor in einer Galaxie gefunden. Die Magnetfeldstärke von etwa 5 Mikrogauß (0,5 Nanotesla) reicht aus, um die Bewegung des Gases im Spiralarm der Galaxie beeinflussen zu können. Auch bei der Entstehung von Spiralarmen könnten Magnetfelder eine wichtige Rolle spielen.

Die neuen Beobachtungen geben auch Hinweise auf einen weiteren Baustein bei der Entwicklung von Galaxien, nämlich den leuchtkräftigen Zentralbereich, in dem sich ein sehr massereiches Schwarzes Loch verbergen könnte, wie im Zentralgebiet von IC 342 und im Milchstraßensystem. Die Magnetfeldlinien im inneren Bereich von IC 342 (siehe Grafik S. 16) verlaufen in Richtung des Galaxienzentrums und können damit eine nach innen gerichtete Gasströmung bewirken sowie die hohe Sternentstehungsrate dort aufrecht erhalten.

RAINER BECK forscht am Max-Planck-Institut für Radioastronomie über Galaxien und ist Gründungsmitglied der internationalen Arbeitsgruppen zur Erforschung des kosmischen Magnetismus mit den Radioteleskopen LOFAR und SKA.

Literaturhinweise

- Beck, R.:** Magnetic Fields in the Nearby Spiral Galaxy IC 342: A Multi-frequency Radio Polarization Study. In: *Astronomy and Astrophysics* 578, A93, 2015
- Beck, R.:** Das Square Kilometre Array – Ein Radioteleskop der Superlative. In: *Sterne und Weltraum* 9/2006, S. 22–33
- Wielebinski, R. et al:** Radioteleskop Effelsberg – Vier Jahrzehnte Astronomie mit dem 100-Meter-Riesen. In: *Sterne und Weltraum* 9/2012, S. 36–45

Zum Herunterladen – Die neuen Radiokarten von IC 342 und anderen Spiralgalaxien: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/atlasimg>



Die einfache, präzise und felsenfeste Montierung für Himmels- und Landschaftsbeobachtung

AZ 5 Montierung

AZ5 und 120mm Refraktor
mit kurzer Brennweite

Extreme Einstellbreite:

- Bis in den Zenit
- Bis runter ins Tal

Schnelles Einstellen mit Rutschkupplung

Präzise 2-Achsen Einstellung mit Schneckengetriebe

Hohe Stabilität und hohe Zuladung (5kg)

AZ5 und 102mm Refraktor
mit kurzer Brennweite

AZ5 und 114mm Newton

Zwei Stativmodelle

AZ5 Stativ

Mini AZ Stativ

Sky-Watcher®
Be amazed.

www.skywatcher.com