

Rainer Beck und Elly M. Berkhuijsen

Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Auf dem Hügel 69, 53121 Bonn

Riesige Magnetfelder durchziehen die Andromedagalaxie

Astronomen vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie haben mit dem 100-Meter-Radioteleskop bei Bad Münstereifel-Effelsberg die bisher umfangreichste und genaueste Vermessung der Magnetfelder in der Andromedagalaxie, einem Nachbarn unseres Milchstraßensystems, unternommen. Die Magnetfelder bilden einen breiten Ring in einem Abstand vom Galaxienkern zwischen 20 000 und 50 000 Lichtjahren. Die Feldrichtung verläuft nahezu entlang des Rings, so wie es die Dynamotheorie der Feldentstehung vorhergesagt hat. Solche gigantischen Magnetfelder spielen bei der Entstehung und Entwicklung von Galaxien eine wichtige Rolle (siehe SuW 7-8/1989, S. 440 und SuW 9/2008, S. 34).

Die Andromeda-Galaxie, im Katalog von Charles Messier (1730-1817) die Nummer 31, ist mit nur 2,5 Millionen Lichtjahren Entfernung die nächstgelegene Spiralgalaxie und übertrifft das Milchstraßensystem an Größe und Gesamtmasse. M 31 kann in klaren Nächten mit dem bloßen Auge gesehen werden und ist schon in alten arabischen Sternkarten als Nebelfleck zu finden. Mit modernen Teleskopen lassen sich ihre Sterne, ihr Gas und ihr Staub mit hoher Präzision untersuchen. Im Bereich der Radiowellen eröffnet sich der Blick auf einen weiteren, oft vernachlässigten Bestandteil der Galaxien: die Magnetfelder.

In Galaxien entstehen ständig neue Sterne. Die massereichsten unter ihnen können als Supernova explodieren. Die hierbei angeregten Stoßwellen rasen durch das Gas des Raums zwischen den Sternen, den interstellaren Raum, und beschleunigen Teilchen auf nahezu Lichtgeschwindigkeit. Wenn diese Teilchen die Erde erreichen, bilden sie einen Teil der Kosmischen Strahlung. Geraten deren negativ geladene Komponenten, die Elektronen, in die Magnetfelder des interstellaren Raumes, laufen sie um die Feldlinien und senden dabei Radiowellen aus, die Synchrotronstrahlung (siehe SuW-Special 2/2004, S. 50). Aus der Intensität der Radiostrahlung lässt sich die Magnetfeldstärke berechnen, und der Polarisationswinkel gibt uns die Orientierung des Felds in der Himmelsebene an. Wird zusätzlich noch die Änderung des Polarisationswinkels mit der Wellenlänge der Radiostrahlung gemessen, die Faraday-Rotation, so lässt sich auch die Feldrichtung entlang der Sichtlinie bestimmen – und somit ist die Feldstruktur im dreidimensionalen Raum bekannt.

Radiostrahlung von Messier 31

Die Lage am Nordhimmel und die enorme Winkelausdehnung von rund zwei Grad am Himmel macht M 31 zu einem idealen Beobachtungsobjekt für das 100-Meter-Radioteleskop

bei Bad Münstereifel-Effelsberg, den weltweit zweitgrößten voll beweglichen Radiospiegel. Es wird vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) betrieben. Schon im Jahr 1972, kurz nach der Eröffnung des Teleskops, konnten Richard Wielebinski, damals Direktor am MPIfR, und Elly M. Berkhuijsen Radiowellen von M 31 nachweisen. Es folgten Kartierungen bei Wellenlängen von 6 und 11 Zentimetern. Im Jahr 1977 fand Rainer Beck erstmals stark linear polarisierte Radiostrahlung von M 31 im Rahmen seiner Doktorarbeit.

In den folgenden Jahrzehnten wurden die Empfangssysteme am Effelsberger Teleskop, das im kommenden Jahr seinen 50. Geburtstag feiert, immer weiter verbessert. Zwei Studenten am MPIfR, David Mulcahy und René Gießübel, führten im Rahmen einer Master- beziehungsweise einer Doktorarbeit von 2001 bis 2012 Kartierungen der gesamten und polarisierten Radiostrahlung von M 31 bei den drei Wellenlängen 3,6, 6,2 und 11,3 Zentimeter durch, jeweils mit mehrfacher streifenweise Abtastung, also Scans. Insgesamt wurden über 300 Stunden Beobachtungszeit aufgewendet. Nachdem beide Studenten das MPIfR verlassen hatten, arbeiteten wir (beide sind wir inzwischen aktive Rentner) noch einige weitere Jahre an der Analyse dieser Daten. Die Ergebnisse erschienen nun im Januar 2020 in der Fachzeitschrift „Astronomy & Astrophysics“.

Die Intensität der Radiosynchrotronstrahlung von M 31 ist in einem breiten Ring konzentriert, den wir fast von der Seite sehen; die Neigung liegt bei etwa 75 Grad. Dieser Ring erstreckt sich zwischen 20 000 und 50 000 Lichtjahren Abstand vom Zentrum der Galaxie (siehe Abbildung 1). Da die Dicke des Rings nur rund 1500 Lichtjahre beträgt, ähnelt die Form einem Wulfring. Die Feldlinien folgen ungefähr dem Ring mit einer systematischen Winkelabweichung, den wir Anstellwinkel nennen. Von oben betrachtet hätte das Magnetfeld die Form einer eng gewickelten Spirale. Die Region in der Nähe des Galaxiekerns ein eigenes Spiralfeld (siehe Abbildung 1).

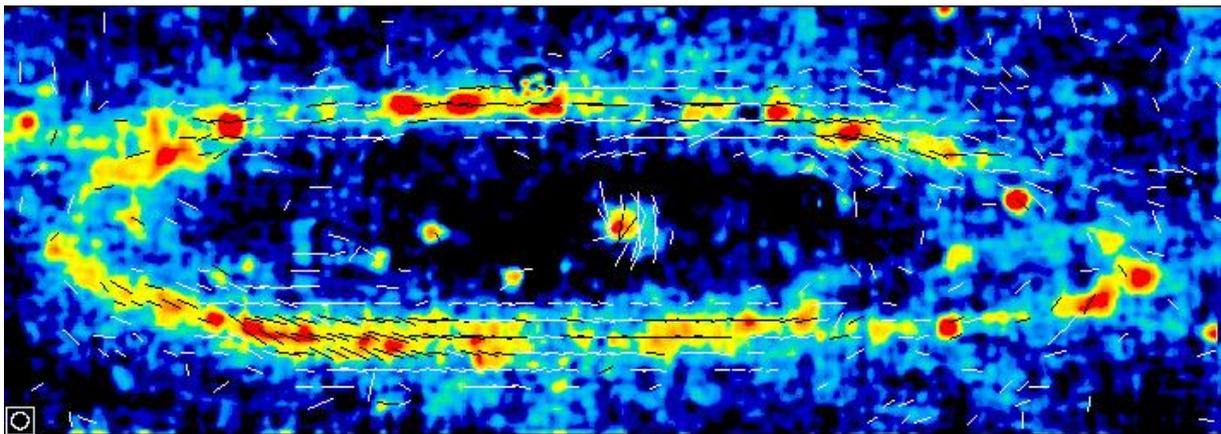


Abbildung 1: Diese Radiokarte der Andromedagalaxie zeigt die Intensität der Synchrotronstrahlung bei 3,6 Zentimeter Wellenlänge. Sie wird freigesetzt, wenn Elektronen im Magnetfeld abgelenkt werden. Die unterschiedlichen Farben stellen die Intensität der Synchrotronstrahlung dar, und die weißen Striche zeigen die Orientierung der Magnetfelder an. Die Daten wurden mit dem 100-Meter-Teleskop bei Bad Münstereifel-Effelsberg mit einer Winkelauflösung von 1,5 Bogenminuten aufgenommen. Die Ausdehnung des gezeigten Feldes beträgt $1,79 \times 0,63$ Grad (weißer Kreis unten links).

Der Vergleich der Polarisationsrichtungen in den Karten bei den drei gemessenen Wellenlängen zeigt Drehungen im Uhrzeigersinn auf der linken Seite und gegen den Uhrzeigersinn auf der rechten Seite (siehe Abbildung 2). Das Magnetfeld weist auf der linken Seite des Bildes von uns weg und auf der rechten Seite auf uns zu. Damit bestätigt sich, dass es der Richtung des geneigten Rings folgt.

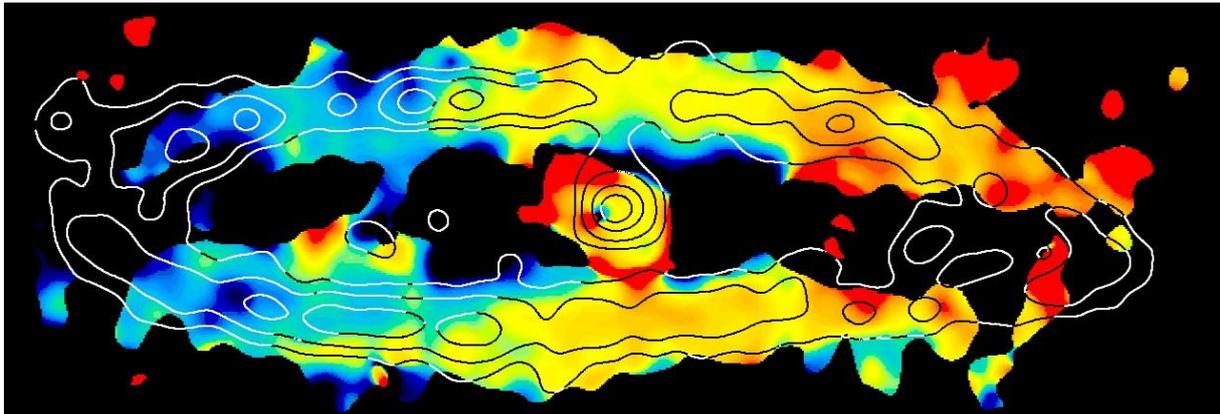


Abbildung 2: Die Richtung der Magnetfelder in M 31 ist hier farblich dargestellt. Sie ließ sich aus dem Drehsinn der Faraday-Rotation der Polarisationsrichtung zwischen den Wellenlängen 3,6 cm und 6,2 Zentimeter bestimmen. Blaue Farbtöne zeigen eine Drehung im Uhrzeigersinn an, wobei die Richtung des Magnetfelds von uns weg weist. Bei roten Farbtönen ist es umgekehrt: Die Drehung ist gegen den Uhrzeigersinn, und das Magnetfeld weist auf uns zu. Die Konturlinien zeigen die Intensität der gesamten Radiostrahlung bei der Wellenlänge 3,6 Zentimeter an. Die Winkelauflösung beträgt drei Bogenminuten.

Ein reguläres Magnetfeld von solch gigantischen Ausmaßen scheint nicht zu der Unordnung und Turbulenz in den Gasbewegungen der Galaxie zu passen. Nur eine einzige Theorie ist in der Lage, diese überraschende Beobachtung zu erklären. Fritz Krause (ehemals Zentralinstitut für Astrophysik Potsdam) und Karl-Heinz Rädler (1935-2020, Astrophysikalisches Institut Potsdam), Eugene Parker (University of Chicago) sowie Anvar Shukurov und Dmitry Sokoloff (damals beide an der Universität Moskau) entwickelten in den 1960er und 1970er Jahren die Theorie des galaktischen Dynamos. Die Rotation einer Galaxie baut im Lauf von einigen Milliarden Jahren aus kleinen Saatfeldern ein großräumiges Magnetfeld in der Scheibe auf, das verschiedene Symmetrien bezüglich des Winkels entlang des Rings haben kann, Moden genannt. Das Feld in M 31 lässt sich durch die Grundmode „axisymmetrisch“ und die wesentlich schwächere Mode „bisymmetrisch“ beschreiben (siehe SuW 7-8/1989, S. 440). Letztere zeigt bei der Faraday-Rotation eine doppelte periodische Variation entlang des Rings, während die axisymmetrische Mode nur eine einfache zeigt (siehe Abbildung 2).

Prototyp eines Dynamofelds

Die neuen Effelsberger Radiokarten von M 31 liefern jetzt die bisher eindrucksvollste Bestätigung der Dynamotheorie. Damit ist M 31 zugleich der Prototyp eines galaxieweiten Dynamofelds. Dynamos arbeiten auch in der Erde und in der Sonne (siehe SuW 9/2008, S. 34), sind dort aber viel schwieriger zu untersuchen, weil wir in diese Körper nicht hineinsehen können.

Auch in anderen Spiralgalaxien wurden vom Dynamo erzeugte Magnetfelder gefunden, jedoch zumeist mit komplexerer Struktur. Die Mehrzahl der anderen stark geneigten Galaxien zeigt ausgedehnte Radiohalos, die durch galaktische Winde erzeugt werden. Solche Winde transportieren und verstärken Magnetfelder im Halo und können die Arbeit des Dynamos in der Scheibe beeinflussen. Das Fehlen eines nachweisbaren Radiohalos um M 31 bedeutet, dass der Wind dort sehr schwach ist.

Auch turbulente Magnetfelder wurden in M 31 nachgewiesen, sind allerdings deutlich schwächer als diejenigen in den meisten anderen Spiralgalaxien. Das ist vermutlich eine Folge der relativ geringen Sternbildungsrate in M 31, denn turbulente Felder und turbulente Gasbewegungen zeigen einen engen Zusammenhang.

Die Magnetfelder in Spiralgalaxien sind generell stark genug, um Gasbewegungen, die Entstehung von neuen Sternen und die Bildung von Spiralarmen zu beeinflussen. Auch bei der Entstehung und Entwicklung von Galaxien scheinen Magnetfelder eine Rolle spielen. Entsprechende Modelle werden zurzeit beispielsweise an den astrophysikalischen Instituten Potsdam und Garching entwickelt.

Publiziert in: Sterne und Weltraum 6/2020, S. 20-22