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 M 31 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 $p_M = {}^1/_2\, B^2/\mu_0$, wobei B die Magnetfelstärke darstellt und $\mu_0 = 4\,\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2 die magnetische Feldkonstante (1 N = 1 kg m s^{-2}). Herrscht also Druckgleichgewicht, so muss der Gasdruck im Inneren der Röhre kleiner sein als im ungebenden interstellaren Medium. Eine magnetische Flussröhre in einem Sonnenfleck habe eine Magnetfeldstärke B_S = 0,1 T (1 T = 1 kg A^{-1} s^{-2}). Um wieviel kleiner, Δp_S, ist der innere Gasdruck?

Aufgabe 2: IC 342 zeigt typischerweise ein gerichtetes Magnetfeld von B_{IC342} = 5 μGs (1 Gs = 10^{-4} 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 $p_i = \varrho_i\, k\, T_G/m_H = 0{,}001\, p_M$, wie groß ist dann die Temperatur T_G des Gases in der Röhre? Gasdichte: $\varrho_i = 10^{-24}$ g/cm^3, Boltzmann-Konstante: k = 1,3806 10^{-23} J/K, Masse eines Wasserstoffatoms: $m_H = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ 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 0,3×0,3 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 wohlbekannt, 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/atlasmag