mer noch kein Magnetfeld nachweisen. Wahrscheinlich sorgt die kleinskalige, multipolare Feldgeometrie dafür, dass sich ihre einzelnen Komponenten unterschiedlicher Polarität im beobachteten Spektrum über das beobachtete Sternscheibchen hinweg kompensieren und damit bislang nicht nachweisbar sind. Einen ähnlichen Effekt sieht man auch bei Weißen Zwergen. Ein einfacher Dipol, zentriert auf die Rotationsachse, passt bei diesen Sternen nur schlecht oder gar nicht zu den Messdaten. Entweder müssen die Forscher die Dipolachse gegenüber der Rotationsachse als geneigt ansehen und/oder Feldkomponenten höherer Ordnung mit berücksichtigen, etwa Quadrupolfelder und sogar Oktupolfelder.

Die Feldgeometrie eines Weißen Zwergs hängt von seinem Alter ab, wenn auch nur tendenziell. Als Erklärung dient eine Rückkopplung mit dem internen toroidalen Feld über den Hall-Effekt (siehe Glossar). Das toroidale Feld ist diejenige Komponente entlang des Meridians. Für einen Weißen Zwerg mit einer Masse von 0,6 Sonnenmassen mit einem internen toroidalen (fossilen) Feld von weniger als 100 Kilotesla ist der Zerfall der (Oberflächen)-Dipolkomponente mindestens einen Faktor drei rascher als diejenige der Quadrupolkomponente. Durch eine genaue Bestimmung der Magnetfeldgeometrie können wir daher wenigstens im Prinzip die Entstehungsgeschichte eines Weißen Zwergs rekonstruieren.

Magnetfelder im H-R-Diagramm

Sterne mit Massen bis zum etwa 2½-fachen der Sonnenmasse entwickeln eine äußere Konvektionshülle und damit sehr wahrscheinlich auch einen internen Alpha-Omega-Dynamo (siehe Kasten auf S. 40). Er wird angetrieben durch die zufälligen konvektiven Massenströme in der Übergangsschicht von der äußeren, konvektiven Hülle zum inneren, strahlungsdominierten Kernbereich. Wie sich dieser »Interface«-Dynamo mit den globalen stellarphysikalischen Parametern Masse, Radius, Chemie, Rotation usw. verhält, wie dessen verstärkte Felder in Form von Flussröhren trotz einer turbulenten Konvektionszone an die Sternoberfläche gelangen und wie sie sich mit der Zeit entwickeln, ist heute Gegenstand vieler Untersuchungen mit modernsten Instrumenten und Supercomputern. Alle Resultate und Vorhersagen werden am

ZUM NACHDENKEN

Magnetfelder

In seinem Artikel schildert Klaus Strassmeier die Bedeutung von Magnetfeldern im Kosmos. Sie sind an vielen Vorgängen maßgeblich beteiligt. Ein wichtiges Beispiel sind koronale Massenauswürfe von der Sonne, die unser Weltraumwetter mitbestimmen. Trifft ein solcher Massenauswurf die Erde, so können starke Ströme induziert werden, die mitunter erheblichen Schaden anrichten.

Erst die Kenntnis über die beteiligten Magnetfelder an der Sonnenoberfläche und darunter gestattet ein besseres Verständnis der Zusammenhänge und ermöglicht vielleicht irgendwann in der Zukunft ein Vorwarnsystem.

Ein wichtiges Hilfsmittel bei der Analyse von Licht ist die Vermessung der Linienaufspaltung einer Emissionslinie. Allein die Existenz der Aufspaltung zeigt bereits, dass am Ort der das Licht aussendenden Materie ein Magnetfeld existieren muss. Der Zeeman-Effekt beschreibt diese Aufspaltung. Für die Verschiebung $\Delta\lambda$ der Wellenlänge gilt:

$$\Delta\lambda = m_l \, \frac{e}{4\,\pi\, m_e\, c} \; \lambda^2 \, B_{\rm Fl}\, g.$$

Dabei ist $m_l = \{-1, 0, 1\}$ die magnetische Quantenzahl. Sie bestimmt die relative Lage zur Wellenlänge der ungestörten Emissionslinie. Die Ladung des Elektrons ist $e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C (1 C = 1 Coulomb = 1 A s), die Masse des Elektrons ist $m_e = 9{,}109 \times 10^{-31}$ kg, die Lichtgeschwindigkeit ist $c = 2{,}998 \times 10^8$ m/s, und $g = 2{,}202$ ist der gyromagnetische oder auch Landé-Faktor, der beschreibt, wie stark der Drehimpuls des Elektronenspins im Vergleich zu seinem Bahndrehimpuls mit dem Magnetfeld koppelt.

Aufgabe 1: Für einem Sonnenfleck mit der Magnetfeldstärke $B_{\rm Fl} = 0{,}5$ Tesla (1 T = 1 Tesla = 1 V s/m^2) berechne man die Linienaufspaltung $\Delta\lambda$ der K-Linie des Kalziums, deren Wellenlänge $\lambda_{\rm K} = 393{,}4$ nm beträgt.

Aufgabe 2: Die magnetische Flussdichte $B_{\rm Fl}$ des globalen solaren Felds beträgt etwa $B_{\rm Fl} = 1$ Millitesla, deutlich stärker als das Erdmagnetfeld mit rund 50 Mikrotesla. Die Sonne wird sich in einigen Milliarden Jahren zu einem Weißen Zwerg entwickeln, dessen Durchmesser bei $D_{\rm WZ} = 5000$ Kilometer liegen sollte. Unter der Voraussetzung, dass das Magnetfeld bei dieser Wandlung erhalten bleibt, berechne man die magnetische Flussdichte $B_{\rm WZ}$ des Weißen Zwergs. Der heutige Durchmesser der Sonne beträgt: $D_\odot = 1{,}4$ Millionen Kilometer. Man vergleiche mit der Prognose der Astronomen, bei der allerdings weitere Faktoren berücksichtigt sind, nach dem sich das solare Feld an der Sonnenoberfläche millionenfach verstärken wird. Die Astronomen erwarten eine magnetische Flussdichte von rund 200 Tesla.

Aufgabe 3: Im Artikel ist aufgeführt, dass während der Inflation des Kosmos Temperaturen um etwa 10^{14} Gigaelektronvolt herrschten. Setzt man die thermische Energie $k_{\rm B}\, T$ eines Elektrons gleich der Energie, die ein Elektron beim Durchlaufen der Spannungsdifferenz $e\, U$ gewinnt, so ergibt sich ein Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannung. Man rechne die 10^{14} Gigaelektronvolt in Kelvin um. Die Boltzmann-Konstante ist $k_{\rm B} = 1{,}381 \times 10^{-23}$ J/K.

Axel M. Quetz

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. September** an:
Redaktion SuW – Zum Nachdenken,
Max-Planck-Institut für Astronomie,
Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg.
Fax: (+49|0) 62 21–52 82 46.
Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost:
siehe Seite 125.