



Leuchtkraft zirkumstellarer Scheiben

In einem frühen Stadium der Entstehung eines Sonnensystems umschließt den Protostern eine flache Scheibe aus Gas und Staub – die protostellare Scheibe. Durch innere Reibung gibt es einen Massentransport von außen nach innen und von ihrem Innenrand strömt Materie auf das Zentralgestirn – der Stern akkretiert. Daher wird sie auch als Akkretionsscheibe bezeichnet.

Aufgabe 1: Durch die Leuchtkraft des jungen Sterns und den damit verbundenen Strahlungsdruck kann sich in einem Bereich unmittelbar um den Stern keine Scheibenmaterie halten. Die Scheibe hat dadurch im Abstand r_i vom Zentrum des Sterns einen inneren Rand. Die nach innen strömende Materie gelangt dabei offenbar von Magnetfeldern gelenkt vom Innenrand der Scheibe zum Stern. Die kinetische Energie eines Atoms, Moleküls oder Staubeilchens der Masse m am Innenrand der Akkretionsscheibe ist $E_{\text{kin},i} = \frac{1}{2} m v^2$, wenn es sich auf einer Keplerbahn mit der Geschwindigkeit v bewegt. Dort herrscht Gleichgewicht zwischen Gravitationskraft $F_G = G m M / r_i^2$ und Zentrifugalkraft $F_Z = m \omega^2 r_i$, wobei $v = \omega r_i$. Im Potenzialtrichter des Sterns hat das Teilchen auf dem Orbit r_i die potenzielle Energie $E_{\text{pot},i} = -G m M / r_i$. Gelangt es nun vom Scheibeninnenrand auf eine Keplerbahn mit dem

Radius R_* des Sterns, so wird eine bestimmte Energie frei: $\Delta E = E_{\text{ges},i} - E_{\text{ges},R_*}$. Dabei ist die Gesamtenergie: $E_{\text{ges}} = E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}}$. Wie groß ist diese freiwerdende Energie?

Aufgabe 2: Der beim Sturz vom Innenrand der Scheibe pro Zeiteinheit freiwerdenden Energie $\dot{E} \equiv d\Delta E/dt$ entspricht die Leuchtkraft L . Man bestimme diese Leuchtkraft, die dabei lediglich von der Rate $\dot{m} \equiv dm/dt$ abhängt, mit der die Materie auf den Stern strömt. Die weitere in der Scheibe entstehende Leuchtkraft ist vernachlässigbar klein gegen L . Man zeige, dass sich das Ergebnis in die Form $L = \frac{1}{2} G \dot{m} M R_*^{-1} (1 - R_*/r_i)$ bringen lässt.

Aufgabe 3: Für $r_i = 5 R_*$, $R_* = R_\odot = 6,963 \cdot 10^8 \text{ m}$, $M = M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$, $\dot{m} = 5 \cdot 10^{-7} M_\odot/\text{a}$ und $G = 6,743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ berechne man die Leuchtkraft L und vergleiche sie mit derjenigen der Sonne $L_\odot = 3,846 \cdot 10^{26} \text{ W}$. AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **10. Sept. 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. 101

chen auf Grund von Magnetfeldern zueinander ausgerichtet ist. Genau das beobachteten die Forscher in der Scheibe um den jungen Stern HL Tauri. Darüber hinaus gelang es ihnen, die Scheibe räumlich aufzulösen und somit die Polarisierung an unterschiedlichen Stellen in der Scheibe zu messen. Die Beobachtungen sind dadurch zur Überprüfung unseres Verständnisses von Akkretionsscheiben besonders hilfreich. Ähnliche Untersuchungen wurden bereits im Jahr 2014 an einem sogar noch jüngeren Stern durchgeführt, doch die Orientierung der Scheibe und mögliche Wechselwirkungen mit der Umgebung ließen kaum klare Schlussfolgerungen über die Magnetfelder zu.

Magnetorotations-Instabilität

Die aktuellen Ergebnisse sind spannend, da sie darauf hindeuten, dass die Magnetorotations-Instabilität tatsächlich die langersehnte Antwort auf die Frage nach der Akkretion in Scheiben sein könnte. Allerdings sind wir noch weit von der endgültigen Lösung dieses astrophysikalischen Rätsels entfernt. Die theoretischen Modelle sagen voraus, dass die magneti-

schen Felder, die der Bewegung des Scheibenmaterials auf seiner Umlaufbahn um den Stern folgen, sich selbst um das Zentralgestirn wickeln sollten. Das konnten die Astronomen jedoch nicht feststellen. Ihre Daten deuten vielmehr darauf hin, dass die magnetischen Felder alle mehr oder weniger in die gleiche Richtung weisen. Dieser Befund lässt sich zurzeit nicht zufriedenstellend erklären.

Was hält die Zukunft für die Physik der Akkretion bereit? Mit dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) wurde ein neues Radioobservatorium in Betrieb genommen, das deutlich empfindlicher ist als dasjenige, welches Stephens und sein Team verwendeten. ALMA wird genaue Einblicke in die Struktur und magnetischen Felder von Scheiben um junge Sterne liefern. Es bleibt zu hoffen, dass mit Hilfe dieser Beobachtungen Erkenntnisse gewonnen werden, die gleichzeitig neue theoretische Untersuchungen zur Rolle von magnetischen Feldern in Akkretionsscheiben anregen werden. Unser Verständnis über diese Phänomene ist noch nicht vollständig, doch wurde ein wichtiger Schritt nach vorne getan.

CHRISTOPHER M. JOHNS-KRULL lehrt am Department of Physics and Astronomy der Rice University in Houston, Texas.

Literaturhinweise

Stephens, I. W. et al.: Spatially Resolved Magnetic Field Structure in the Disk of a T Tauri Star. In: Nature 514, S. 597–599, 2014.

WIS Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051466

© Nature Publishing Group
www.nature.com
 Nature 514, S. 597–599, 2014