

Liebe Leserin, lieber Leser,

wer kennt sie nicht, die Fotos majestätisch sich windender Spiralnebel (HST-Foto: M 81)? Der Anblick ist ehrfurchtgebietend – und fordert den Forscher heraus. Die Spiralarme werden durch die jüngsten und hellsten Sterne eines Sternsystems markiert. Dort „wütet das Feuer“ der Sternentstehung. Wie an einer Perlenschnur aufgefädelt reiht sich eine HII-Region¹ an die andere. Junge, massereiche Sterne machen das interstellare Gas, das von der Sternentstehung übriggeblieben ist, hell leuchten. Das bekannteste Sternentstehungsgebiet ist für uns der Orionnebel. (Am Südhimmel, in der Großen Magellanschen Wolke, gibt's ein HII-Gebiet, das füllte, an die Stelle des Orionnebels versetzt, das ganze Sternbild des Orion aus!) Die ersten Menschen kannten den Orionnebel noch nicht. HII-Regionen sind kosmische Eintagsfliegen

Wie erklärt man sich das grandiose Spiralmuster bei einer „Grand-Design“-Scheibengalaxie wie Messier 81? Räumliche und zeitliche Kohärenz erfordern, dass sich weit voneinander entfernte Gebiete einer Galaxie untereinander „ab-sprechen“ müssen. Vor einem halben Jahrhundert gaben die beiden Hydrodynamiker Chia-Chiao Lin (1916–2013) und Frank H. Shu (geb. 1943) darauf eine Antwort: galaktische Dichtewellen.

Das Wort „Spiralnebel“ steht oft synonym für extragalaktisches Sternsystem, für Galaxie. In Wirklichkeit stellen die Spiralgalaxien nur eine Untergruppe der Galaxien dar, allerdings die bekannteste. Letzteres dürfte rein ästhetische Gründe haben.

Einen guten Start ins Sommerhalbjahr wünscht

Hans-Erich Fröhlich

¹Der Wasserstoff ist in einer HII-Region durch die UV-Bestrahlung junger Sterne ionisiert und strahlt, ein Plasma. Ohne diese Anregung wäre er kalt, neutral und leuchtete optisch nicht. Man spricht dann von einer HI-Region oder, bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt, von molekularem Wasserstoff, H₂.

Der Himmel im März

Venus ist Morgenstern und geht Anfang des Monats noch vor Beginn der Morgendämmerung auf. Merkur ist nur im Prinzip zu sehen. Zwar ist er den ganzen Monat über vor der Sonne auf, verbleibt aber wegen des flachen Verlaufs der Ekliptik in Horizontnähe und verbirgt sich hinter Dunst und Dämmerung.

Während für den Jupiter die Oppositionsphase Anfang März zu Ende geht – ab dem 6. März bewegt er sich wieder entgegen dem Uhrzeigersinn bezüglich des Sternenmeers –, treten Mars und Saturn nach kurzem Stillstand in ihre Oppositionsphase ein, der Mars am 1. März, Saturn anderthalb Tage darauf. Frühlings-Tag-und-Nacht-Gleiche ist am 20. März. Pünktlich drei Minuten vor 6 Uhr abends überquert die Sonne den Himmelsäquator in nördliche Richtung. Vier Tage zuvor ist Vollmond. Auf den Frühlingsvollmond müssen wir noch fast eine Lunation warten. Ostern fällt auf einen späten Termin in diesem Jahr.

Und auf Sommerzeit wird umgestellt. Der letzte Märzsonntag ist mit 23 Stunden ein kurzer.

Galaktische Dichtewellen

Die Spiralarme von „Grand-Design“-Spiralen sind nur im Optischen auffällig, besonders im UV-Bereich. Auf Infrarotaufnahmen, die das Gros der Sterne zeigen, verblassen sie. Wieder einmal haben wir uns vom Eindruck blenden lassen: Zwischen den Spiralarmen fehlt es keineswegs an Sternen! Nur, die vielen massearmen Sternchen dort fallen nicht so auf wie die wenigen extrem leuchtkräftigen jungen Sterne in den Spiralarmen. Nur ein Beispiel: Der hellste Stern des Trapezes im Orionnebel, θ^1 Orionis C, strahlt allein so hell wie 250 000 Sonnen! Er tut dies allerdings nur für wenige Millionen Jahre. Dann ist er erschöpft und sein Ende als Supernova besiegelt.

Die Feststellung, dass die Spiralarme nur durch die Leuchtkraft, nicht aber durch die darin befindliche Masse hervorgehoben sind, gab den Anstoß zur Dichtewellentheorie, auch Lin-Theorie genannt.

Die Dichtewellentheorie löst ein Problem: das Aufwickeldilemma. Eine dünne Galaxienscheibe ist rotationsunterstützt. Ohne rotationsbedingte Fliehkräfte stürzte sie binnen weniger hundert Millionen Jahre aufgrund der Eigenschwe-

re in sich zusammen. Die Winkelgeschwindigkeit der Rotation aber, die Umlaufzeit, ist abstandsabhängig. Je weiter weg vom Zentrum, desto länger dauert eine Umrundung. Man kennt das vom Sonnensystem. Wozu die Erde ein Jahr braucht, benötigt Neptun 165 Jahre. (Bei einer Spiralgalaxie, wo die Masse nicht so stark wie im Sonnensystem zum Zentrum konzentriert ist, unterscheiden sich die Umlaufzeiten zwischen Innen und Außen nicht ganz so stark.) Wären die Spiralarme materieller Natur, d. h. bestünden sie immer aus demselben Material, müssten sie sich wegen der differentiellen Rotation binnen Hundert Millionen Jahren aufwickeln. Spiralgalaxien sind aber mehrere Jahrmilliarden alt! Sie haben seit ihrer Entstehung Dutzende von Umdrehungen hinter sich, und nichts deutet auf ein Aufwickeln der Spiralen hin. (Eine Galaxie kann nicht mal auf die Schnelle ihren Hubble-Typ ändern.) Der einzige Ausweg, der Langlebigkeit garantiert: Die Spiralarme sind keine stofflich zusammenhängenden Gebilde, keine Materiearme, sondern ein die Galaxienscheibe überspannendes Wellenphänomen! Die massearmen Sterne, die das Gros ausmachen, umströmen das Zentrum mal etwas langsamer, mal etwas schneller – streng periodisch. Verbunden damit ist ein Hin- und Herströmen in radialer Richtung, auf das Zentrum zu und von ihm weg. Das Sternengewimmel, nicht unähnlich einem aus Atomen bestehendem Gas, wird periodisch komprimiert und wieder dekomprimiert. Dort, wo momentan die Sternendichte hoch ist, ist ein Spiralarm! Dutzende von Millionen Jahren später sind es andere Sterne, die (statistisch gesehen) gerade zusammenrücken. Wie Lin und Shu 1964 analytisch² gezeigt haben, sind (enggewundene) globale Dichtewellen in einem differentiell rotierenden „Sternengas“, das der Schwerkraft unterworfen ist, möglich. Die Sterne sind in diesem Bild vergleichbar den Atomen eines normalen Gases. Sie vollführen entsprechend der Scheiben„temperatur“ eine zufällige Individualbewegung, die der systematischen Umströmung des Zentrums überlagert ist. Die Dichtewelle der Lin-Shu-Theorie ist ein mit konstanter Winkelgeschwindigkeit, also quasi stationär rotierendes Muster³ von der Gestalt einer logarithmischen Spirale, d. h., der Anstellwinkel ändert sich kaum.

Eine stationäre stellardynamische Dichtewelle hat ein Problem. Die Sterne fallen im freien Fall im kollektiven Schwerfeld um das galaktische Zentrum herum. Bei dieser *konservativen* Sicht der Dinge spielt aber die Zeitrich-

²Der allgemeine Fall kann nur mittels numerischer Experimente erforscht werden.

³Mit der Dichtewelle einher geht eine entsprechende spiralförmige Störung im Schwerfeld der Galaxie.

tung keine Rolle. (Dazu ein Beispiel: Das Planetensystem, das in der Zeit rückwärts liefe, wäre genauso möglich! Es dürfte schwerlich einem Planetariumsbesucher auffallen, liefe der Film rückwärts.) Der Lin-Theorie mit ihrem unveränderlichen Wellenmuster muss es wegen der prinzipiellen Zeitumkehrbarkeit egal sein, ob die Spiralarme nachgeschleppt werden oder nicht! Die beobachtete Bevorzugung nachgeschleppter Arme, ist rein stellardynamisch, ohne Einbindung der Vorgeschichte, nicht zu verstehen. (Im Planetensystem sorgt allein schon die Gezeitenreibung im Erde-Mond-System dafür, dass sich die Zukunft von der Vergangenheit unterscheidet. Das ist ein schönes Beispiel dafür, wie Wärmeproduktion den „Pfeil der Zeit“ gebiert.)

Die Dichtewelle ist Ausdruck eines kollektiven Phänomens, einer Resonanz in einer schwingenden Scheibe aus Sternen. Nicht nur Sterne selbst schwingen wie ein Musikinstrument unisono, auch scheibenförmige Ansammlungen von hundert Milliarden Sternen tun dies! Wer hätte das gedacht? Kepler, ein Freund von Sphärenmusik, hätte es gefreut.

Die Dichtewellentheorie⁴ löst elegant das Aufwickelproblem. Nur Materiearme wickelten sich auf, Wellen nicht.

Wieso kommt es aber ausgerechnet dort, wo die Sternendichte unwesentlich erhöht ist, zur Bildung neuer Sterne?

Nun, die Amplitude der Dichtewelle hängt von der „Temperatur“ des Trägermediums ab. Die periodische Schwankung in der Dichte ist um so kleiner, je hektischer sich im Mittel die Sterne bewegen, bezogen auf die Umlaufgeschwindigkeit ums galaktische Zentrum. Das Gros der alten Sterne hat Individualbewegungen von größenordnungsmäßig 40 km/s. Die Sonne beispielsweise rast mit 20 km/s auf das Sternbild Herkules zu. Doch nicht nur Sterne umrunden das Galaxienzentrum, Wolken aus interstellarem Gas tun dies auch. Deren Pekuliargeschwindigkeiten sind mit unter 10 km/s niedriger als die der Sterne. Das „kühle“ Gas reagiert entsprechend heftiger als das „heiße“ Sternengas auf periodische Schwankungen im Schwerkraftpotential. Während Sterne bloße „Punkte“ sind, die einander niemals nahe kommen – niemals stoßen –, ist das Gas diffus verteilt, also stoßanfällig. Und es strömt mit Überschallgeschwindigkeit in einen Spiralarm ein. Kein Wunder, dass es hochgradig nicht-linear auf die von den Sternen verursachte Schwankung im Schwerefeld reagiert und es in großräumigen galaktischen Stoßfronten zu

⁴Dichtewellen sind nicht auf Galaxienscheiben beschränkt. Auch im Ringsystem des Saturn werden sie beobachtet.

einer sprunghaften Verdichtung im Gasstrom kommt. Dies wiederum triggert die Bildung von Molekülwolken und von Sternen in deren Inneren. Dies geschieht entlang des von der Dichtewelle im Sternen„gas“ vorgezeichneten Wellenkammes.

Obwohl die Theorie ihre Probleme hat – die Beobachter haben Schwierigkeiten, die vorhergesagten Stoßfronten galaktischen Ausmaßes auszumachen –, ist sie nach wie vor die einzige Theorie, die die Langlebigkeit der Spiralmuster erklärt.

Indes stellt sich die Frage, ob die grandiosen Muster überhaupt von Dauer sein müssen. Galaxien sind gesellig. Anders als Sterne kommen Galaxien häufig einander derart nahe, dass gravitative Störungen unausweichlich sind. Auch M 81 ist nicht isoliert. In ihrer Nähe ist die Zigarrengalaxie M 82, von der im Februar-Newsletter die Rede war. Vermutlich regt so etwas *ephemere* Dichtewellen an, die für eine Weile über die Scheibe huschen und wieder vergehen⁵. Der mathematischen Schönheit der Linschen Wellen und dem Grad an Einsicht, den sie vermitteln, vermögen sie nichts anzuhaben.

⁵Die Wellenenergie wird dabei auf die Individualbewegung der Sterne verteilt. Das Sternen„gas“ heizt sich allmählich auf.