



Im GOODS-S-Field befinden sich zwei Kandidaten für Schwarze Löcher, die möglicherweise direkt aus einer in sich zusammenstürzenden Gaswolke statt aus einem massereichen Stern entstanden sind. Ihre Massen betragen anfänglich rund 100 000 Sonnenmassen. Das Bild ist im Nahinfrarotbereich aufgenommen, die grünen Konturen zeigen die Strahlung im Röntgenbereich.

ZUM NACHDENKEN

Gravitationskollaps



Der ultraleuchtkräftige Quasar SDSS J010013.02+280225.8, kurz S28, zeigt eine Rotverschiebung von $z = 6,3$, und das verursacht Stirnrunzeln. Denn seiner Rotverschiebung nach stammt das Licht des Quasars aus einer Zeit nur rund 900 Millionen Jahre nach dem Urknall – herkömmlichen Theorien nach zu wenig für die Entstehung seines extrem massereichen Schwarzen Lochs mit $M_{S28} = 12$ Milliarden Sonnenmassen ($M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30}$ kg). Das Licht des im Kurzbericht beschriebenen Quasars CR7 zeugt von einem vergleichbaren Alter und lässt sich mit dem Gravitationskollaps aus einer Gaswolke direkt zum Schwarzen Loch erklären.

Aufgabe 1: Erklärt sich die Leuchtkraft des Quasars durch die seit seiner Entstehung voranschreitende Akkretion von Wasserstoffgas aus der umgebenden Wolke, so gilt $F_T = F_G$ im Kräftegleichgewicht aus Strahlungsdruck durch die Thomson-Streuung $F_T = \sigma_T L_{\text{Edd}} / (4 \pi r^2 c)$ von Licht an Wasserstoff und Gravitation $F_G = G M_{\text{Edd}} m_p / r^2$. Die bolometrische Leuchtkraft von S28 ist $L_{S28} = 1,62 \cdot 10^{41}$ W und die Eddington-Leuchtkraft sei $L_{\text{Edd}} = L_{S28}$. Unter der Annahme, dass das Wachstum des Schwarzen Lochs in S28 durch das Eddington-Limit (siehe »Zum Nachdenken« in SuW 11/1988, S. 696) limitiert ist – die erzeugte Strahlung begrenzt die

Akkretionsrate – berechne man die zugehörige Eddington-Masse M_{Edd} . Thomson-Wirkungsquerschnitt $\sigma_T = 6,652 \cdot 10^{-29}$ m², $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s, Protonenmasse $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ kg. Man vergleiche mit der aus Infrarotspektren ermittelten Masse M_{S28} .

Aufgabe 2: Mit Hilfe des Jeans-Kriteriums lässt sich entscheiden, ob eine Gaswolke kollabiert oder nicht (siehe SuW 1/2003, S. 100). Der Grenzfall liegt vor, wenn der Virialsatz $2 E_{\text{kin}} = -E_{\text{pot}}$ erfüllt ist. Dabei ist die kinetische Energie der Gasteilchen (praktisch ausschließlich Wasserstoff): $E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} \eta T M_{S28}$ und die potenzielle Energie einer homogenen Gaskugel: $E_{\text{pot}} = -\frac{3}{5} G M_{S28}^2 / R_j$ (Gaskonstante $\eta = 8,315$ J K⁻¹ mol⁻¹, 1 mol Wasserstoff entspricht 1 Gramm). Die Wolke kollabiert, wenn sie kleiner ist als der Jeansradius R_j . Ist dies für die Größe einer Galaxis mit 100 000 Lichtjahren und der Gastemperatur $T = 50$ K der Fall? AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **8. Dezember 2016** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg. Fax: 06221 528377. PDF: zumnachdenken@sterne-und-weltraum.de. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern Preise verlost: siehe S. 101

Akkretionsrate, also wie viel Materie in ein Schwarzes Loch stürzt: Bei zu viel Materie wirkt der Druck der dabei erzeugten Strahlung der Anziehungskraft des Schwarzen Lochs entgegen, wodurch Materie in der Umgebung davongebblasen wird.

Ein anderes Szenario ist demnach notwendig: Wie wäre es, wenn man statt von einem normalen Schwarzen Loch mit einer zu hohen Wachstumsrate von einem größeren Schwarzen Loch mit einer normalen Wachstumsrate ausginge – einem mittelschweren Schwarzen Loch sozusagen? Ein Schwarzes Loch mit einer anfänglichen Masse von 10 000 bis 100 000 Sonnenmassen wäre eine passende Grundlage. Natürlich gibt es keine derartig massereichen Sterne, und das Schwarze Loch müsste daher auf ganz andere Art und Weise entstehen.

Hier behelfen sich die Theoretiker, indem sie den Stern einfach gleich ganz weglassen. Stattdessen gehen sie dann von einem Schwarzen Loch aus, das direkt aus einer in sich zusammenstürzenden Gaswolke entsteht – einem so genannten »direct collapse black hole«, kurz DCBH (siehe S. 19)

Im heutigen Universum würde eine solche Gaswolke zwar fragmentieren und Sterne bilden. Das junge Universum aber war von energiereicher Ultraviolettstrahlung erfüllt. Diese UV-Strahlung hat ionisierende Wirkung: sie zerlegte die Wassermoleküle in den Gaswolken in ihre atomaren Bestandteile. Dadurch war das Gas zu heiß, um für die Sternentstehung in Frage zu kommen. Stattdessen konnte die ganze Gaswolke relativ ungehindert kollabieren.

Simulierte Spektren für die Suche

Soweit die Theorie – aber gibt es tatsächlich solche mittelschweren Schwarzen Löcher? Ein italienisches Forscherteam hat kürzlich im Fachmagazin »Monthly Notices of the Royal Astronomical Society« zwei Kandidaten vorgestellt. In Simulationen loteten sie zunächst aus, wie die Lichtsignale derartiger Schwarzer Löcher aussehen sollten. Die Gaswolken, aus denen sie entstanden und von denen sie anschließend umgeben sind, enthalten ausschließlich Wasserstoff und Helium. Zu jenem Zeitpunkt gab es schließlich noch keine Sterne, die für die Bildung schwererer Elemente hätten sorgen können.

Der auf Grund des Schwarzen Lochs erzeugten Strahlung prägen sich beim