

Das Infrarot-Farbkomposit zeigt den Galaxienhaufen MACS J1149.6+2223. Die von uns aus gesehen weit hinter dem Haufen liegende Heimatgalaxie der Supernova »Refsdal« wird insgesamt dreimal abgebildet. Ihre Bilder liegen innerhalb der blau umrandeten Bereiche. Die Supernova wurde an der quadratisch umrandeten Galaxie gesichtet. Ihre vier Bilder S1 bis S4 sind als gelbe Punkte in der Ausschnittsvergrößerung zu sehen (siehe auch S. 18). Den Modellen der Materieverteilung im Galaxienhaufen von Kelley und seinen Kollegen zufolge ist sie bereits früher im oberen blauen Kreis erschienen, und wird innerhalb der nächsten zehn Jahre im unteren blauen Kreis abermals aufleuchten. Obwohl dieser Ort von der Erde aus gesehen vor dem Zentrum des Galaxienhaufens liegt und der zugehörige Lichtweg daher kürzer ist als bei den anderen Orten, ist dieses Abbild das »spätere« der drei. Grund dafür ist ein relativistischer Effekt namens Shapiro-Verzögerung, welcher die Ausbreitung des Lichts in der Nähe der großen Masse des Haufens verlangsamt.

dem schwächsten der vier Abbilder, ließ sich kein eindeutiger Trend feststellen, berichteten Kelly und seine Kollegen Anfang März in der Fachzeitschrift Science.

Explodierender Riesenstern

Der Fund war so außergewöhnlich, dass der Direktor des Space Telescope Science Institute dem Forscherteam 30 Orbits des Weltraumteleskops Hubble für die Untersuchung der Vierfachsupernova gewährte. »Die Daten zeigen, dass es sich wahrscheinlich um eine Typ-II-Supernova handelte, also die Explosion eines massereichen Sterns mit Wasserstoffhülle«, erklärt Kelly gegenüber »Sterne und Weltraum«. Auch aus dem Verlauf der Lichtkurve sei etwa eine Supernova des Typs Ia auszuschließen: Eine typische Ia-Supernova erreiche ihr Helligkeitsmaximum innerhalb

der ersten 20 Tage nach der Explosion, die Helligkeit des S3-Bilds stieg jedoch auch nach 30 Tagen weiter an.

Damit erfüllte sich die anfängliche Hoffnung der Astronomen leider nicht, mit Hilfe der gelinsten Supernova die tatsächliche (intrinsische) Helligkeit einer Ia-Supernova auf etwa zehn Prozent genau zu ermitteln. Dies wäre in Hinblick auf die Bedeutung dieser Supernovaklasse für die Kosmologie von großem Wert gewesen: Ia-Supernovae dienen den Kosmologen als Standardkerzen bei der Vermessung der Expansionsgeschwindigkeit des Universums. Kelly meint, die Lichtkurve sei statt dessen mit jener der Supernova 1987A vergleichbar, die in der Großen Magellanschen Wolke aufleuchtete. Diese

im Jahr 1987 mit bloßem Auge sichtbare Sternexplosion markierte das Ende eines blauen Riesensterns.

Dass es sich bei den vier Bildern irrtümlich um das Aufflackern eines aktiven Kerns der Hintergrundgalaxie handelt, glauben die Forscher nicht: Die Lage der vier Bilder fällt nicht mit dem Kernbereich der Heimatgalaxie zusammen, eine Aktivität des Galaxienkerns ist daher eine unwahrscheinliche Erklärung. Eine Durchsicht von Hubble-Aufnahmen der Galaxie, die seit 2010 gewonnen worden waren, zeigte außerdem keine Variabilität des Galaxienkerns. Die starke Helligkeitszunahme der vier Abbilder in derart kurzer Zeit wäre in jedem Falle sehr ungewöhnlich für einen aktiven Galaxienkern. Abschließend

ZUM NACHDENKEN

Shapiro-Verzögerung: Supernova unter der Gravitationslupe

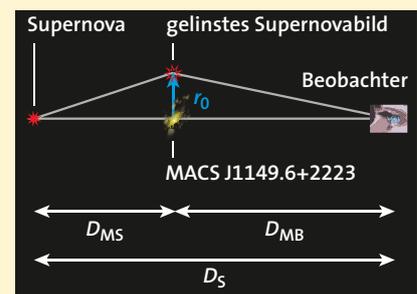


Photonen, die an einer Masse vorbeifliegen, unterliegen nicht nur einer Ablenkung (Stichwort Gravitationslinse), sie erleiden auch eine Verzögerung relativ zu einer Reisezeit ohne ablenkende Masse: Das Licht kommt in einem Gravitationsfeld langsamer voran. Dieser relativistische Effekt wird Shapiro-Verzögerung genannt. Grob gesprochen, muss das Licht dabei in der gekrümmten Raumzeit einen längeren Weg zurücklegen.

Aufgabe: Die beim Durchqueren eines Gravitationsfelds der Masse M entstehende Zeitverzögerung Δt lässt sich approximativ durch die Gleichung

$$\Delta t = \frac{GM}{c^3} \cdot \left(2 \ln \frac{D + \sqrt{D^2 - r_0^2}}{r_0} - \sqrt{\frac{D - r_0}{D + r_0}} \right)$$

beschreiben. Dabei ist D die Distanz zur Masse, welche die Shapiro-Verzögerung bewirkt, und r_0 ist der Abstand zwischen Massezentrum und dem durch die Linsenwirkung verursachten Bild der Supernova in der Himmelsebene. Die Verzögerung lässt sich als Summe der Einzelverzögerungen Δt_{MB} und Δt_{MS} auf den zwei Wegstrecken $D_{MB} = 6,65 \cdot 10^9$ Lj und $D_{MS} = D_S - D_{MB}$ berechnen (siehe



Grafik oben). Die Distanz zur Supernova sei $D_S = 14,4 \cdot 10^9$ Lj, die Masse des Galaxienhaufens $M = 1,7 \cdot 10^{14} M_\odot$. Man ermittle die Verzögerungen für **a)** das Vierfachbild mit $r_{0Q} = 242\,000$ Lj (siehe blaues Quadrat im Bild links) und **b)** die dem Haufenzentrum näher gelegene Galaxie (unterer blauer Kreis im Bild links) mit $r_{0Z} = 121\,000$ Lj sowie **c)** die Zeitdifferenz Δt_{QZ} der beiden Wege. Die Gravitationskonstante ist $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$, die Sonnenmasse ist $M_\odot = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **7. Mai 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