durch seine Schwerkraft andere Objekte aufsammelte oder verdrängte.

Gemäß einer plausiblen Theorie entstand auch Neptun zunächst näher bei der Sonne und wanderte anschließend nach außen in Richtung seiner heutigen Umlaufbahn. Währenddessen begegnete er anderen Objekten – darunter wohl auch jenen blauen Zweiersystemen. Diese könnten gemäß den Forschern zunächst auf einer resonanten Umlaufbahn mit Neptun gefangen worden sein, und zwar in einem 2:1-Orbit. Das bedeutet: Für jeden von Neptuns Sonnenumläufen kreisten sie zweimal um die Sonne. Eine solche Umlaufbahn sorgte dafür, dass sie Neptun nicht zu nahe kamen und der Gasriese ihre recht schwache gravitative Bindung aneinander gestört hätte. Neptuns Reise war Simulationen zufolge dabei zunächst eine eher sanfte Tour, mit lediglich einem größeren Sprung von einer halben astronomischen Einheit. Dadurch könnte er die künftigen KBOs weiter nach außen katapultiert und sie auf ihren derzeitigen Umlaufbahnen im Kuipergürtel deponiert haben. Das erklärt aber noch nicht die Entstehung der blauen Zweiergruppen.

Wie entstehen diese Doppelsysteme?

Generell diskutieren Experten zwei Szenarien, wie sich Planetesimale – laut einer Hypothese sind das Vorläufer und Bausteine von Planeten – bildeten: Entweder klumpten kleinere Brocken sukzessive zu größeren Objekten zusammen, oder eine Wolke aus Festkörpern kollabierte und formte einen Vorläufer eines Planeten. Im Rahmen von Simulationen wären beide Szenarien auch für die Entstehung der entdeckten blauen Zweierpacks denkbar. Im ersten Szenario wäre eine Teilung des Klumpens durch dynamische Reibungskräfte mit Staub möglich. Ein Wolkenkollaps hingegen könnte sofort in einem Doppelsystem resultieren.

Vollkommen einleuchtend klingt jedoch keine der beiden möglichen Entstehungsgeschichten: Denn folgerichtig hätten sich alle Planetesimale, die in diesem Abstand von der Sonne entstanden sind, als Zweiersysteme ausbilden müssen. Doch die Forscher spekulieren, dass in dieser Entfernung womöglich tatsächlich genau das passiert ist, da dort die passenden Bedingungen dafür geherrscht hätten. Es scheint allerdings so, als ob in diesem Zusammenhang noch Klärungsbedarf bestehe.

Spannend dürften die Ergebnisse noch ausstehender Untersuchungen sein, welche die Farben und die chemische Zusammensetzungen genauer unter die Lupe nehmen sollen. Sie können weitere Hinweise auf die unterschiedlichen Arten von KBOs und ihre Entstehung liefern – denn derzeit sieht ganz danach aus, als würden Forscher im Kuipergürtel noch einige Rätsel zu lösen haben.

FRANZISKA KONITZER studierte Physik und Astrophysik an der University of York in Großbritannien. Sie ist als freie Wissenschaftsjournalistin in München tätig.

Literaturhinweis

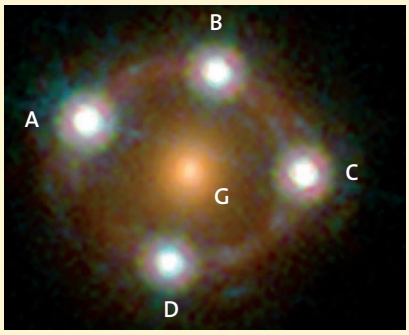
Fraser, W. C. et al.: All Planetesimals Born Near the Kuiper Belt Formed as Binaries. In: Nature Astronomy 1, 0088, 2017

WIS Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1183908

ZUM NACHDENKEN

Zeitverzögerungs-Distanz, Teil 2

Die Galaxie HE 0435-1223 stellt für den dahinter stehenden Quasar J043814.8-122314 eine Gravitationslinse dar. Das führt zu vier Bildern A, B, C und D, die ein so genanntes Einstein-Kreuz bilden (siehe Bild rechts). Im ersten Teil im Oktober-Heft, S. 22, ging es um die Bestimmung der Winkeldurchmesser- und Zeitverzögerungs-Distanzen, hier nun um die Zeitverzögerung.



ESA / Hubble, NASA, Suyu et al. (https://www.spacetelescope.org/images/heic1702b/) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode); Bearbeitung: SuW-Grafik

Aufgabe 3: Die individuellen Zeitverzögerungen zwischen den gelinsten Quasarbildern hängen vom genauen Weg durch das komplizierte Gravitationspotenzial zwischen Quelle und Beobachter ab. Ohne Kenntnis der Potenziale lässt sich die Zeitverzögerung wenigstens abschätzen:

$$\Delta t_{ij} = \frac{1 + z_\mathrm{L}}{2\,c}\,\frac{D_\mathrm{s}\,D_\mathrm{l}}{D_\mathrm{ls}}\,(\theta_j^2 - \theta_i^2).$$

Dabei ist $\theta_i = (\Delta\alpha_i^2 + \Delta\delta_i^2)^{1/2}$ der Abstand des Quasarbilds i von der Linsengalaxie G. D_l, D_s und D_ls entnehme man dem auch online verfügbaren ersten Teil: goo.gl/A6Mmtq. Wie groß sind die Zeitverzögerungen für $ij = \{\mathrm{AB, AC, AD}\}$? Die relativen Abstände $\Delta\alpha_i = \alpha_\mathrm{G} - \alpha_i$ und $\Delta\delta_i = \delta_\mathrm{G} - \delta_i$ finden sich in der Tabelle links. Man vergleiche mit den gemessenen Verzögerungen $\Delta t_\mathrm{AB} = -8{,}8$ d, $\Delta t_\mathrm{AC} = -1{,}1$ d und $\Delta t_\mathrm{AB} = -13{,}8$ d.

Relative Abstände der Quasarbilder zur Galaxie

gelinstes Quasarbild	$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$
A	–1,165″	0,573″
B	0,311″	1,126″
C	1,302″	–0,030″
D	–0,226″	–1,041″
Linsengalaxie G	0,0″	0,0″

Aufgabe 4: Die Distanz zur Gravitationslinse ergibt sich auch mit Hilfe der Geschwindigkeitsdispersion $\sigma = 222$ km/s der Linsengalaxie:

$$D_\mathrm{l} = \frac{c^3 \Delta t_{ij}}{4\,\pi\,\sigma^2\,(1 + z_\mathrm{L})}\,\frac{1}{\theta_j - \theta_i}\,.$$

Man ermittle die Werte für $ij = \{\mathrm{AB, AD}\}$ und vergleiche mit D_l aus Teil 1. AMQ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **3. November 2017** 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