

Einstein-Ringe und Einstein-Kreuze

In der Ausgabe zum 60-jährigen Jubiläum von SuW in Heft 4/2022 geht es auf S. 18 um die von Gaia entdeckten Einstein-Kreuze. Ich frage mich, weshalb eine Vordergrundmasse genau vier Abbildungen des dahinterliegenden Quasars erzeugt. Müssten sich nicht, genau wie bei ganzen Galaxien, Ringe ergeben? Spielt hier eventuell die Art oder Struktur des Vordergrundobjekts, also der »Linse«, eine Rolle?

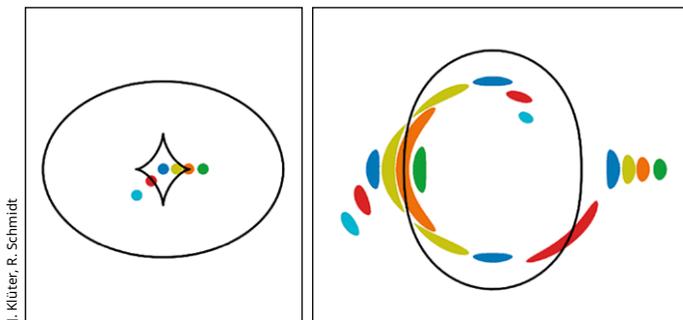
SILVIO HENKER, DRESDEN

Gravitationslinsen erzeugen Mehrfachbilder von Quasaren – häufig zwei. Einstein-Ringe sind hingegen die Ausnahme. Sie entstehen nur bei ausgedehnten Hintergrundobjekten.

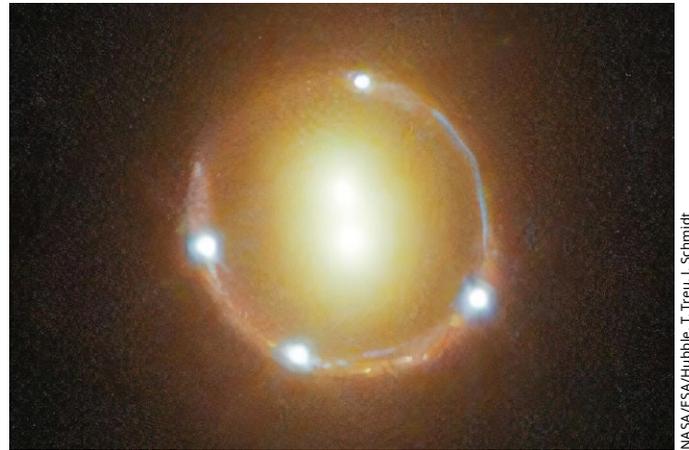
Für ein rotationssymmetrisches Gravitationsfeld der Linse – zum Beispiel bei einer Punktmasse – entstehen zwei Bilder. Diese verschmelzen nur dann zu einem Ring, wenn Teile des gelinsten Hintergrundobjekts exakt in der Sichtlinie hinter dem Zentrum der Linse liegen. Bei Galaxien ist die Symmetrie gestört, weil ihre Masse niemals genau rotationssymmetrisch verteilt ist. In einem solchen Fall hängt das Bild von zwei mathematischen Kurven ab: der radialen und tangentialen Kaustik. Kaustiken bezeichnen in der Optik Brennlinien und -flächen. Im Alltag treten sie infolge Brechung und Reflexion als Lichtmuster in Erscheinung, zum Beispiel durch Wasser am Boden eines Schwimmbeckens.

Befindet sich die unverzerrte Position des Hintergrundquasars vom Beobachter aus gesehen außerhalb der tangentialen Kaustik, dann gibt es nur zwei mögliche Wege, auf denen das Licht vom Quasar zu uns gelangen kann; es entstehen also zwei Bilder (siehe »So entstehen Einstein-Ringe und -Kreuze«, grüne und türkisfarbige Fälle).

Ein Vierfachbild bildet sich, wenn sich der Quasar innerhalb der tangentialen Kaustik, also nahe der zentralen Sichtlinie hinter der Linse befindet. Die Anordnung der vier Bilder ist dabei



So entstehen Einstein-Ringe und -Kreuze Links sind die unverzerrten Positionen und Formen einer Hintergrundquelle zu sehen, zum Beispiel eines Quasars oder einer Galaxie, relativ zum Symmetriezentrum des linsenden Gravitationsfelds und seiner charakterisierenden Kurven. Die schwarzen Linien illustrieren die radiale Kaustik (außen) und die tangentialen Kaustik (innen). Rechts zeigen sich die Positionen und die Verzerrungen der einzelnen Bilder aus der Sicht des irdischen Beobachters. Die schwarze Linie ist die kritische Kurve. Sie ist das Abbild der tangentialen Kaustik. Befindet sich die Quelle innerhalb der tangentialen Kaustik, entstehen vier Bilder (blau und oliv). Ist sie hingegen außerhalb dieser Grenzlinie, entstehen zwei Bilder (grün und türkis). Liegt die Quelle auf der tangentialen Kaustik, wird sie besonders stark verzerrt (rot und orange).



NASA/ESA/Hubble, T. Treu, J. Schmidt

Seltener Sonderfall Hier sind Einstein-Ring und Einstein-Kreuz gleichzeitig zu sehen: Im Zentrum ist das linsende Galaxienpaar erkennbar.

abhängig von der Lage des Quasars relativ zur Kaustik. Für ein schönes Einstein-Kreuz müssen Vordergrundgalaxie und Hintergrundquasar fast exakt auf einer Sichtlinie liegen (blau). Hinzu kommt, dass die Winkelabstände der vier Bilder am Himmel groß genug und die einzelnen Bilder hell genug sein müssen, damit sie getrennt abgebildet werden können. Wenn zwei der Bilder zu nahe beisammen stehen, dann sind von dem gelinsten Quasar scheinbar nur drei Bilder zu sehen.

Liegt die Quelle genau auf der Kaustik, dann sind die einzelnen Bilder stark entlang der kritischen Linie verzerrt, und es entstehen Bögen (rot, orange). Komplette Einstein-Ringe sind nur zu beobachten, wenn ein Großteil der Kaustik abgedeckt wird. Diese lassen sich deshalb nur für ausgedehnte Hintergrundobjekte beobachten. Bei Quasaren ist die physische Ausdehnung der Lichtquelle dafür zu gering.

Nur in besonderen Fällen lässt sich ein Einstein-Ring zusätzlich zu den vier Bildern eines Quasars beobachten. Dieser wird durch die den Quasar umgebende Galaxie hervorgerufen. Ein Beispiel dafür ist das Objekt 2M1310-1714 (siehe »Seltener Sonderfall«). Bei komplizierteren Linsen können mehr als vier Bilder und Bögen entstehen. Dies geschieht insbesondere dann, wenn die Linse ein Galaxienhaufen mit mehreren massereichen Mitgliedern ist. ■

Jonas Klüter ist Postdoc am Department for Physics and Astronomy der Louisiana State University Baton Rouge (USA). In seiner Forschungsarbeit beschäftigt er sich mit der Suche nach extrasolaren Planeten mittels Transitmethode sowie astrometrischem Microlensing und mit der Suche nach gelinsten Quasaren.

Senden Sie uns Ihre Fragen zu Astronomie und Raumfahrt! Wir bitten Experten um Antwort und stellen die interessantesten Beiträge vor.

Jetzt **Sterne und Weltraum** abonnieren
und keine Ausgabe mehr verpassen!



Sie haben die freie Wahl

Ob Print, digital oder beides in Kombination:
12 Ausgaben im Jahresabo – für Sie selbst
oder als Geschenk. Mit einem Abo profitieren
Sie zudem von den exklusiven Vorteilen
und Angeboten von **Spektrum PLUS** – wie
kostenlosen Downloads, Vergünstigungen
und Redaktionsbesuchen.



Jetzt bestellen:

Telefon: 06221 9126-743

E-Mail: service@spektrum.de

[Spektrum.de/aktion/suwabo](https://www.spektrum.de/aktion/suwabo)