

Der Gravitationslinsen-Effekt

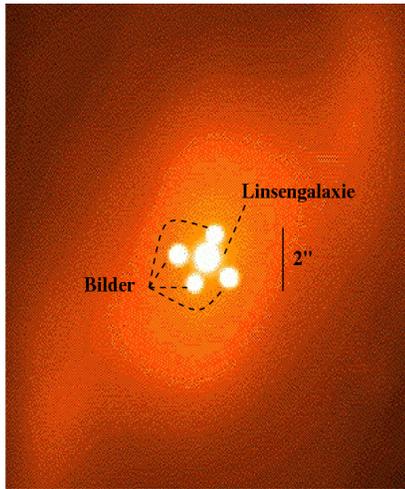


Abb. 1: Der Vierfach-Quasar QSO 2237+0305

Abb. 1 ist eine Aufnahme des Quasars QSO 2237+0305 im sichtbaren Wellenlängenbereich. Die Aufnahme zeigt die vier „gelinsten“ Bilder des weit entfernten Quasars. Die Linse, hier eine nahe Spiralgalaxie, befindet sich im Zentrum der vier Bilder.

Abb. 2 zeigt eine *Hubble Space Telescope*-Aufnahme im Infraroten und eine Radio-Karte des Gravitationslinsensystems B1938+666. Die infrarote Emission der Quelle ist ausgedehnt und wird als Einsteinring abgebildet. Im Zentrum des Einstein-Rings sieht man die Linsengalaxie. Im Radiobereich hat die Quelle zwei kompakte Komponenten. Die Bilder A1, B1, C1 und D1 sind die Bilder der ersten Komponente, während A2 und B2 die Bilder der zweiten Komponente der Quelle sind. Die Linsengalaxie ist in der Radiokarte nicht zu sehen.

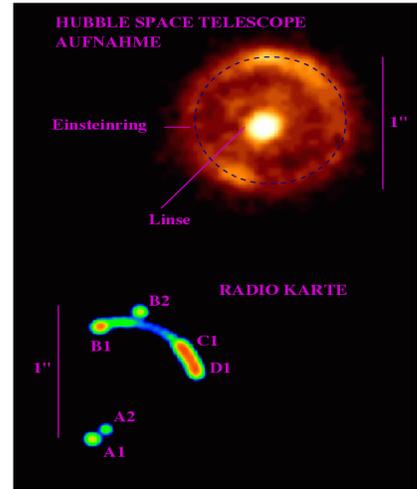
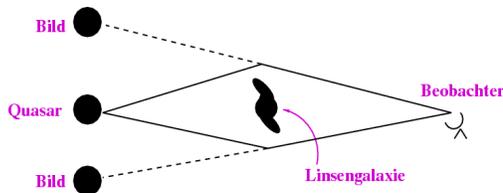


Abb. 2: Das Linsensystem B 1938+666, aufgenommen in zwei verschiedenen Wellenlängenbereichen

Das Prinzip

Im leeren Raum breitet sich Licht geradlinig aus. Nach der Allgemeinen Relativitätstheorie lenken massereiche Objekte das Licht aber in ähnlicher Weise ab wie Sammellinsen aus Glas. Man spricht daher vom *Gravitationslinsen-Effekt*. Die „Brennweite“ solcher Gravitationslinsen ist extrem lang; in einigen Fällen ist sie so groß wie der Radius des Universums. Sterne, Galaxien, Galaxienhaufen oder sogar noch größere Strukturen können als Linsen wirken. Die Quellen, die am häufigsten abgebildet werden, sind Sterne, Galaxien und Quasare. Manchmal wird der Lichtweg so stark verbogen, dass der Beobachter mehrere Bilder der Quelle sieht. Ein Beispiel dafür ist in Abb. 1 zu sehen, das Prinzip ist in der schematischen Abbildung unten erläutert. Dort sieht man, dass das Licht des Quasars so stark durch eine massereiche Galaxie abgelenkt wird, dass der Beobachter zwei Bilder des Quasars am Himmel sieht. Quellen, die vom Beobachter aus gesehen genau hinter der Linse liegen, können als ringförmige Bilder erscheinen und bilden sogenannte Einstein-Ringe.



Dass es sich bei einem Mehrfachbild wirklich um ein und dasselbe Hintergrundobjekt handelt, lässt sich durch das elektromagnetische Spektrum bestätigen, denn dies ist so charakteristisch wie ein Fingerabdruck. Die Lichtablenkung am Sonnenrand wurde bereits 1919 bestätigt. Die erste „richtige“ Gravitationslinse wurde allerdings erst 1979 gefunden: der Doppelquasar QSO 0957+561. In diesem System erzeugt eine Galaxie zwei Bilder des Quasars. Seitdem sind viele weitere Gravitationslinsensysteme entdeckt worden. Neben Mehrfach-Quasaren und Einstein-Ringen beobachtet man in Galaxienhaufen auch leuchtende Bögen. Dies sind stark verzerrte Bilder der Hintergrundquellen. Ein Beispiel für einen solchen als Linse wirkenden Galaxienhaufen ist in der Abbildung 4 dargestellt.

Anwendungen

Der Gravitationslinseneffekt bestätigt nicht nur auf spektakuläre Weise die Allgemeine Relativitätstheorie. Er erlaubt auch die Untersuchung vieler astrophysikalischer Fragestellungen:

- ▷ Bestimmung der Masse der Gravitationslinsen. (Siehe Poster „Wie wiegt man Galaxienhaufen?“)
- ▷ Direkte Beobachtung dunkler Materie.
- ▷ Messung der kosmischen Ausdehnung des Universums (Bestimmung der Hubble-Konstanten). Hierbei wird benutzt, dass das Licht der Quelle entlang verschiedener Wege unterschiedlich lange braucht.
- ▷ Nachweis Schwarzer Löcher.
- ▷ Nutzung von Gravitationslinsensystemen als riesige, natürliche Teleskope, um die Eigenschaften der Hintergrundobjekte zu studieren.

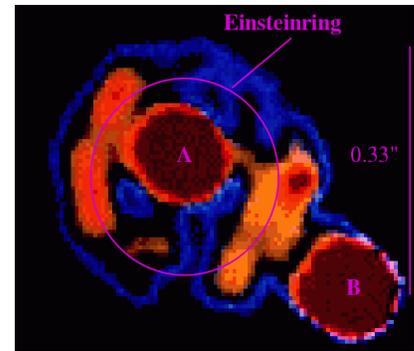


Abb. 3: Eine Radiokarte des Linsensystems 0218+357

Abb. 3 zeigt das Linsensystem 0218+357. In diesem System bildet eine Spiralgalaxie die kompakte Komponente der Quelle in zwei Bildern ab. Der ausgedehnte Jet der Quelle (Siehe Poster „Jets und aktive galaktische Kerne“) wird in einen Einstein-Ring abgebildet.

Abb. 4 ist eine extrem lang belichtete Aufnahme des massereichen Galaxienhaufens Abell 1689. Dieser Haufen verzerrt durch seinen Gravitationslinseneffekt viele Hintergrundgalaxien. Das so erhaltene Verzerrungsmuster um den Haufen ermöglicht es, dessen Massenverteilung zu rekonstruieren. Außerdem ist der Haufen ein hervorragendes Beispiel für ein natürliches Teleskop, das die Untersuchung schwacher Hintergrundgalaxien ermöglicht.

