

Aus Zählungen in den Aufnahmen des so genannten Hubble Ultra-Deep Field, hier ein Ausschnitt, erschlossen der britische Astronom Christopher Conselice und seine Kollegen im Jahr 2016, dass es im fernen Universum viel mehr sehr kleine Zwerggalaxien gibt als zuvor angenommen.

Wird die Dunkle Materie überflüssig?

In den letzten Jahren fallen mir beim Lesen astrophysikalischer Artikel immer wieder zwei Dinge auf:

1. Die Wissenschaft scheint sich sehr sicher zu sein, dass sich die Energie/Materie im Universum in einem groben Verhältnis von 5 Prozent Materie, 25 Prozent Dunkler Materie und 70 Prozent Dunkler Energie zusammensetzt.
2. Auf der anderen Seite wird die Menge bekannter normaler Materie fast jährlich dramatisch nach oben korrigiert.

Beispiele hierfür wären:

- Noch vor wenigen Jahren gab man die Anzahl der Sonnen in unserer Milchstraße mit 100 Milliarden an. Mittlerweile lese ich in fast jeder Publikation Zahlen um die 200 bis 400 Milliarden Sonnen.
- In SuW 1/2017, S. 10, schreiben Sie, dass nach neuen Analysen des Hubble Deep Field die Anzahl der Galaxien auf zwei Billionen nach oben korrigiert werden musste, dies sei ein Faktor 10 zu den bisherigen Annahmen.
- In Heft 12/2016, S. 14, schreiben Sie, dass man gerade dabei sei, den Halo der Milchstraße zu erforschen. Dieser habe mehrere Millionen Lichtjahre Durchmesser. Auch bei noch so dünnem Gas muss bei einem solch gigantischen Volumen

doch nennenswert Materie vorhanden sein.

- Von bisher unbekanntem Materieanteilen in Form nicht gesehener Brauner Zwerge, erkalteter Weißer Zwerge, unbekannter (weil inaktiver) Schwarzer Löcher etc. ganz zu schweigen.

Damit will ich fragen: Wie kann man sich bei dem Verhältnis von 1:5 von Materie zu Dunkler Materie so sicher sein, wenn die Menge an bekannter Materie innerhalb weniger Jahre um Faktoren von 10 und mehr schwanken kann?

Wird überhaupt noch die Annahme einer Dunklen Materie benötigt, oder kann diese durch das Auffinden neuer normaler Materie abgeschafft werden? Könnten zum Beispiel der neu entdeckte Halo und massenhaft inaktive Schwarze Löcher außerhalb der Milchstraße auch deren Rotationsgeschwindigkeit erklären (denn genau dafür hat man ja die Dunkle Materie postuliert)? ANDREAS ZANKL, WIESENT

Das sind sehr viele Fragen auf einmal, aber gute und berechtigte Fragen. Die komplette Beantwortung würde einen ganzen Hauptartikel in Sterne und Weltraum füllen. Ich will versuchen, den wichtigsten Punkt sehr kurz darzustellen.

Die Astronomen glauben aus vielerlei Gründen, die Gesamtmenge an normaler und Dunkler Materie im Universum zu kennen, also auch das Verhältnis dieser beiden Mengen. Und sie sind sich vollkommen darüber im Klaren, dass die aus jenen Gründen erschlossene Gesamtmenge an normaler Materie (nämlich rund vier Prozent der so genannten kritischen Dichte, die dem Universum die beobachtete und auch aus diversen theoretischen Gründen erwartete flache Geometrie gibt) bisher zu rund neun Zehnteln nicht beobachtbar ist.

Anders gesagt: Wir glauben zu wissen, dass es rund vier Prozent der kritischen Dichte an normaler Materie gibt, aber wir sehen bisher nur rund 0,4 Prozent. Die von Herrn Zankl diskutierten Neuentdeckungen füllen (hoffentlich) nach und nach die fehlenden dreieinhalb Prozent auf. Sie machen also die Forderung nach Dunkler Materie keineswegs unnötig.

Zu den von Herrn Zankl genannten Beispielen ist zu sagen, dass die Braunen Zwerge und die vielen neu hinzukommenden Zwerggalaxien kaum einen Beitrag liefern. Die wesentlichen fehlenden Massen sind in den riesigen Halos der Galaxien und den noch riesigeren Räumen dazwischen zu vermuten. U. B.

Weitere Einsendungen finden Sie auf unserer Homepage unter www.sterne-und-weltraum.de/leserbriefe, wo Sie auch Ihren Leserbrief direkt in ein Formular eintragen können. Zuschriften per E-Mail: leserbriefe@sterne-und-weltraum.de

$E = m \cdot c^2$ im Alltag

Als eifriger Leser Ihrer Zeitschrift »Sterne und Weltraum« möchte ich eine Frage zur Relativitätstheorie stellen. Bekanntlich sind nach der Formel $E = m \cdot c^2$ von Einstein Masse und Energie äquivalent. Mit dieser Formel kann zum Beispiel die Energiemenge berechnet werden, die bei der Spaltung großer Atomkerne oder bei der Kernfusion kleiner Atomkerne freigesetzt werden. Kann diese Formel aber auch bei anderen Energieumwandlungsprozessen angewendet werden?

Dazu einige Beispiele:

1. Erwärmung eines Eisenstabes bis zum Schmelzen. Besitzt das flüssige Eisen eine größere Ruhemasse als der Eisenstab? 2. Verbrennung von Methan. Ist die Ruhemasse der

Produkte etwas kleiner als die der Edukte? 3. Transport eines schweren Gegenstands von der ersten zur zweiten Etage. Ist die Ruhemasse des Gegenstands im Obergeschoß größer als im Erdgeschoß? ARMIN MORITZ, EHRINGSHAUSEN

Das Beispiel 1 ist mit einem einfachen »ja« zu beantworten. Das zweite Beispiel ist schon etwas komplizierter. Die Antwort lautet wiederum »ja«, allerdings nur, wenn die Reaktionswärme dann auch abgegeben wurde und nicht mehr in den Produkten drinsteckt (zum Beispiel als Temperaturerhöhung).

Bei der dritten Frage lautet die Antwort »nein«. Die beim Hochtragen aufgewandte Ener-

gie ist in der klassischen Physik in die potenzielle Energie des Gesamtsystems Erde / Körper / Träger gegangen. Der Körper »weiß« mit seiner Ruhemasse nicht, wo er sich in einem Gravitationsfeld befindet.

Aber dieser dritte Fall führt zu einer witzigen Gedanken-spielerei: Wenn der Körper jetzt von oben fallen gelassen wird, dann erwärmt er sich durch den Aufprall unten, ist danach also zunächst schwerer. Strahlt er dann die Wärme in den Weltraum ab, ist er wieder so schwer wie vor Beginn des Experiments, aber die ganze Erde ist um die Masse der abgegebenen

Strahlung leichter geworden. Wie ist das möglich? Es ist doch nun alles wieder wie ganz zu Beginn des Experiments. Nein, denn schon beim Hochtragen hat der Träger Energie verbraucht und ist dabei leichter geworden. Diese Energie war als potenzielle Energie des getragenen Körpers zwischengespeichert.

Achtung: Mit »leichter« und »schwerer« ist hier jeweils nicht das Gewicht, sondern die Ruhemasse gemeint. Wegen der Abnahme der Schwerebeschleunigung mit der Höhe ist das Gewicht des Körpers im Obergeschoss tatsächlich kleiner. U.B.

Winkelauflösungs-Ellipsen

Bei Himmelsaufnahmen, wie zum Beispiel in SuW 6/2017, S. 19, wird oft das Auflösungsvermögen mit Hilfe einer elliptischen Fläche dargestellt. Die Definition von Auflösung kenne ich zwar aus der Physik, aber ich finde keinen Zusammenhang zwischen dieser Definition und der Darstellung mit Hilfe der Ellipse. Es wäre schön, wenn Sie mir da weiterhelfen könnten.

DIETER JAEGER,
GAILDORF

Es kann vorkommen, dass die Winkelauflösung einer astronomischen Aufnahme in einer Richtung geringer ist als in der Richtung quer dazu. Dann wird eine punktförmige Lichtquelle nicht in ein kreisrundes Scheibchen abgebildet, sondern in ein elliptisches. Diese Tatsache sowie die Richtungen und Beträge der besten beziehungsweise schlechtesten Auflösung am Himmel werden durch diese Ellipsen dargestellt.

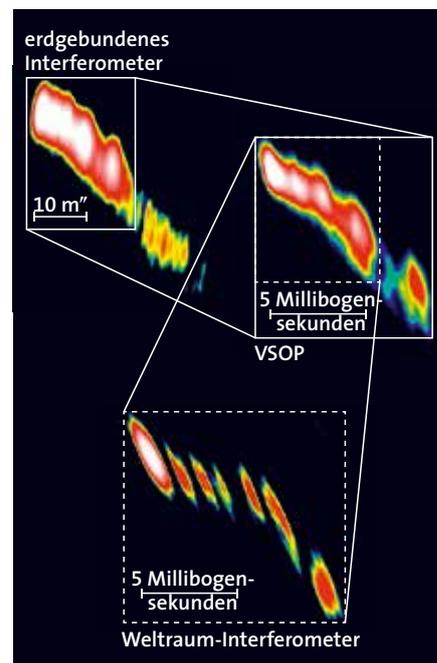
Bei Aufnahmen mit Interferometern ist diese Art von länglichen Bildern von Punktquellen sogar eher die Regel als die Ausnahme. Aber auch bei »konventionellen« Bildern kann das vereinzelt vorkommen, zum Beispiel durch Nachführfehler,

atmosphärische Farbrefraktion, spezielle Bildempfänger oder besondere Optikgeometrien.

Ein Beispiel für letzteren Fall ist die Astrometriemission Gaia der ESA, bei der die rechteckigen Primärspiegel der Optik in einer Richtung 1,5 Meter und in der anderen Richtung nur einen halben Meter

Der Quasar 3C 273 beziehungsweise sein Jet wurde mit drei verschiedenen Radio-Interferometern aufgenommen, aber jeweils bei der gleichen Strahlungsfrequenz von fünf Gigahertz – entsprechend einer Wellenlänge von sechs Zentimetern. Die unterschiedlich geformten Ellipsen entsprechen jeweils den Bildern von nahezu punktförmigen – unaufgelösten – leuchtenden Knoten im Jet. Man beachte die unterschiedlichen Maßstäbe der drei Bilder, angedeutet durch die Ausschnitte und die Maßstabsbalken, wobei m" = Millibogensekunden bedeutet. Das Interferometer mit der größten Basislinie (unten) erzeugt die schärfsten Bilder. Es verwendete unter anderem ein Radioteleskop, das im Weltraum die Erde umkreist.

groß sind. Das zentrale Beugungsscheibchen einer Punktquelle ist deshalb mit rund $0,12 \times 0,36$ Bogensekunden ziemlich länglich im Verhältnis 1:3, und dazu passend hat man die Pixel der CCD-Kamera als kleine Rechtecke von 10×30 Mikrometer, entsprechend etwa $0,06 \times 0,18$ Bogensekunden hergestellt. U.B.



SuW-Grafik, nach: Andrei Lobanov, MPIfR, et al., 1998

Einstein-Kreuz & Co: Wieso exakt vier Bilder?

Als mehr als 20-jähriger Abonnent und begeisterter Leser von SuW habe ich mich immer mal wieder über das als »Einstein-Kreuz« bekannte Phänomen gewundert. Es wird erzeugt durch eine – von uns aus gesehen – fast perfekt auf der Sichtlinie zu einem sehr fernen Quasar stehende Galaxie. Meine Frage dazu: Warum erzeugt der dem Phänomen zu Grunde liegende so genannte Gravitationslinsen-Effekt vier einzelne Bilder des fernen Quasars? Ich meine, warum genau vier, und nicht zum Beispiel drei oder fünf? Ich kann mir vorstellen, dass Ringe und Bögen von Gravitationslinsen erzeugt werden. Aber vier scharfe, punktförmige Bilder?

HANS HENRIK CHRISTENSEN, FREDERIKSSUND (DÄNEMARK)

Der Gravitationslinseneffekt kann in Wahrheit eine unterschiedliche Anzahl an Bildern erzeugen. Die Anzahl und die Form der Bilder hängen im Wesentlichen von der Massenverteilung der Linse und der Anordnung von Beobachter, Linse und gelinstem Quasar oder Hintergrundgalaxie ab. Die erste Gravitationslinse wurde von Dennis Walsh, Robert Carswell und Ray Weymann 1979 entdeckt (Q0957+561) und bestand aus nur zwei sichtbaren Bildern. Die Entstehung von Mehrfachbildern ist eine Folge der Lichtablenkung, verursacht von der gekrümmten Raumzeit in der Nähe der Linse. Folgen wir den Lichtstrahlen einer entfernten Galaxie, so strahlt diese zunächst in alle Richtungen Licht ab, und nur ein kleiner Teil erreicht uns auf der Erde. Begegnet das Licht der Hintergrundgalaxie einer oder mehreren weiteren Galaxien, so verhält sich das Licht, als würde es von der Galaxie (Linse) angezogen. Dadurch erreichen uns Lichtstrahlen, welche die Erde sonst verfehlt hätten. Das Licht hat dann gegebenenfalls mehrere Möglichkeiten, sich um die Linsengalaxie herum zu uns zu bewegen.

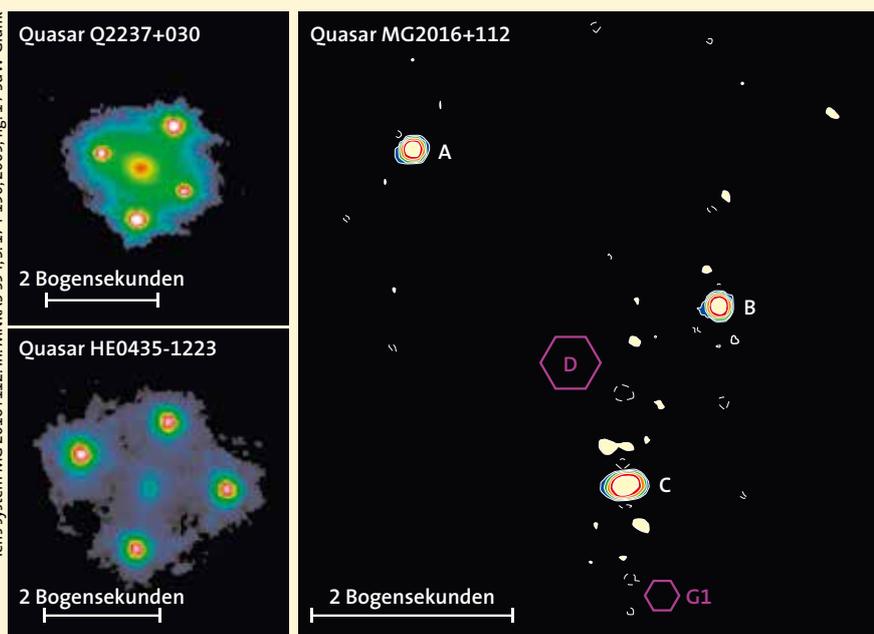
Bei einer praktisch punktförmigen Masse als Linse können uns Lichtstrahlen auf zwei Wegen erreichen, und so entstehen zwei Bilder. Galaxien als Linsen weisen jedoch eine erhebliche Ausdehnung und Asymmetrie (Elliptizität und ähnliches) auf. In diesem Fall finden die Lichtstrahlen weitere Wege zu uns. Wenn die »ungestörte« Verbindungslinie Hintergrundquasar–Beob-

achter dicht am Zentrum der Linsengalaxie vorbeiführt, können vier Bilder entstehen. Dies ist der Fall beim so genannten Einsteinkreuz (siehe Abbildung unten links), und es ist der am zweithäufigsten beobachtete Fall. Wenn Linse und Hintergrundquelle perspektivisch etwas weiter voneinander getrennt sind, werden drei Bilder erzeugt. Meistens ist eines dieser Bilder zu lichtschwach und zu dicht am Zentrum der Linse, um in Erscheinung zu treten. Die am häufigsten beobachtbaren gelinsten Quasare zeigen daher Doppelbilder. Mehr als vier Bilder können erzeugt werden, wenn die Linsen noch komplexer aufgebaut sind und beispielsweise aus einem ganzen Galaxienhaufen bestehen. Diese Fälle treten in der Praxis jedoch selten auf.

Kurze Antwort auf die letzte Frage von Herrn Christensen: Es ist eine grundlegende Eigenschaft aller Linsen, auch normaler optischer Linsen, dass sie aus Punktquellen wie Quasaren stets auch Punktbilder machen. Die Bögen und Ringe, die man bei Gravitationslinsen gelegentlich sieht, sind verzerrte Bilder von ausgedehnten Objekten – nämlich von Galaxien.

MARKUS HUNDETRMARK arbeitet am Astronomischen Rechen-Institut des Zentrums für Astronomie der Universität Heidelberg. In seiner Forschungsarbeit beschäftigt er sich mit der Suche nach extrasolaren Planeten mit dem Mikrogravitationslinseneffekt.

Bilder links: Harvard-Smithsonian CfA, CASTLES project (https://www.cfa.harvard.edu/castles/); Bild rechts: More, A. et al.: The role of luminous substructure in the gravitational lens system MG 2016+112. In: MNRAS 394, S. 174-190, 2009, fig. 1 / SuW-Grafik



Links: Optische Bilder zweier Viererlinsen. Die Falschfarben geben die Helligkeitsverteilung in den Bildern wieder, die Größe der Einzelbilder ist durch die Winkelauflösung bestimmt. Im Zentrum ist jeweils die »linsende« Galaxie zu erkennen. Oben ist das bekannte »Einstein-Kreuz« (Q2237+030) gezeigt, unten der Quasar HE0435–1223. Rechts: Radiobild einer Dreierlinse (Quasar MG 2016+112). Die Helligkeitsverteilung in den Einzelbildern ist hier durch Isophoten dargestellt. Die Symbole D und G1 bezeichnen die Orte der (im Radiobereich unsichtbaren) großen Linsengalaxie und einer kleinen Nachbargalaxie. Deren zusätzliches Schwerfeld ist dafür verantwortlich, dass Bild C hier etwas länglich erscheint. In Wahrheit ist es in weitere Komponenten aufgespalten.

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

Evolutionäres Design – EXPLORE SCIENTIFIC EXOS II PMC-Eight OpenGOTO



**SOFORT
lieferbar!**

Ab € 3990⁰⁰*



ExploreStars™
OpenGOTO
COMMUNITY

€ 999⁰⁰*

**SOFORT
lieferbar!**



Eigenschaften

- PMC-Eight OpenGOTO System
- ExploreStars OpenGOTO Software
- Drahtlose WiFi-Verbindung
- Steuerung per Windows-PC, -Tablet** oder -Phone

- Steuerung per Richtungstasten oder Joystick
- Intuitive 2-Stern- und 3-Stern-Ausrichtung
- Umfangreiche grafische Objektdatenbank
- Digitale Sternkarten zur Orientierung
- Micro-Stepper-Motoren NEMA-11
- Geräuscharmer Zahnriemenantrieb
- ST-4 Autoguider-Anschluss
- ASCOM-Treiber verfügbar
- Betriebssystem:
Windows 8.1 & Windows 10

*Unverbindliche Preisempfehlung des Herstellers in Euro inkl. MwSt. (DE), zzgl. Versand.
**Tablet-PC nicht enthalten!

Open
GOTO®



**Ab Lager Deutschland
lieferbar!**

Ab € 3950⁰⁰*

BRESSER entdeckt PULSAR



BRESSER Pulsar Domes

- Beste Fertigungsqualität aus England
- Dauerhaft wetterbeständiges GFK Material
- Hohe Abweisung von Wärmestrahlung
- Stabiler Schließmechanismus
- Einfaches und passgenaues Design
- Selbstmontage oder Aufbauservice auf Anfrage
- Motorgesteuerte Rotation als optionales Zubehör erhältlich
- Motorgesteuerter Kuppelspalt als optionales Zubehör erhältlich
- Automatikbetrieb über Internet möglich
- Verfügbar in weiß - weitere Farben z.B. grün auf Anfrage
- Weitere Informationen und Zubehör unter www.bresser.de

Die Lieferung erfolgt ausschließlich per Spedition. Lieferkosten sind abhängig von der Lieferadresse.
Bitte erfragen Sie diese per e-Mail unter orders.shop@bresser.de oder rufen Sie uns an unter +49 2872 8074 300.

EXPLORE
SCIENTIFIC



BRESSER
GROUP OF COMPANIES

www.explorescientific.de Besuchen Sie uns auf facebook.com/ExploreScientific

www.bresser.de

Explore Scientific GmbH · Gutenbergstr. 2 · 46414 Rhede · Tel. +49 28 72 - 80 74-400 · Fax +49 28 72 - 80 74-411 · info@explorescientific.de