



Gravitationslinsen-Bild eines Quasars mit vier umliegenden Abbildern

Gravitationslinsen-Bild eines Quasars, aufgenommen mit dem Hubble-Weltraumteleskop. Das Gravitationsfeld einer Galaxie im Vordergrund wirkt wie eine Linse auf die vom Quasar kommenden Lichtstrahlen und erzeugt vier fast gleichmäßig um die als Linse wirkende Galaxie verteilte Quasar-Abbilder.

Linsen aus purer Schwerkraft zur **Auflösung eines kosmischen Widerspruchs**

Die gewaltige Masse von Galaxien krümmt den sie umgebenden Raum und erzeugt so Linsen, die Licht brechen. Das ermöglicht der Physikerin Sherry Suyu, mithilfe von Bildern des Hubble-Teleskops die genaue Geschwindigkeit zu messen, mit der sich das Universum ausdehnt. Ihre Methode könnte einen erbitterten wissenschaftlichen Streit beilegen.

Short version

Lenses made from pure gravity help to solve a cosmic contradiction E

The speed at which the universe is expanding, as indicated by the Hubble constant, is currently one of the most hotly disputed questions in astrophysics. A collaboration called H0LiCOW, led by physicist Prof. Sherry Suyu, has now succeeded in measuring this constant using a completely new method. To do this, the team studied quasars – extremely luminous cosmic objects – located behind galaxies. The mass of these galaxies creates “gravitational lenses” that split the image of each quasar into multiple copies, the light from which spends different amounts of time traveling through space to reach us. Given a journey time of several billion years, this difference can amount to several days or even weeks. With the help of the Hubble Space Telescope, it is now possible to measure this phenomenon so accurately that Suyu and her team have used it to calculate the Hubble constant. This has shone a new light onto the contradictory measurements from other methods in cosmology. Prof. Suyu is awarded the American Astronomical Society’s 2021 Berkeley Prize in recognition of this work. She is Professor of Observational Cosmology at TUM and leads a research group at the Max Planck Institute for Astrophysics. □

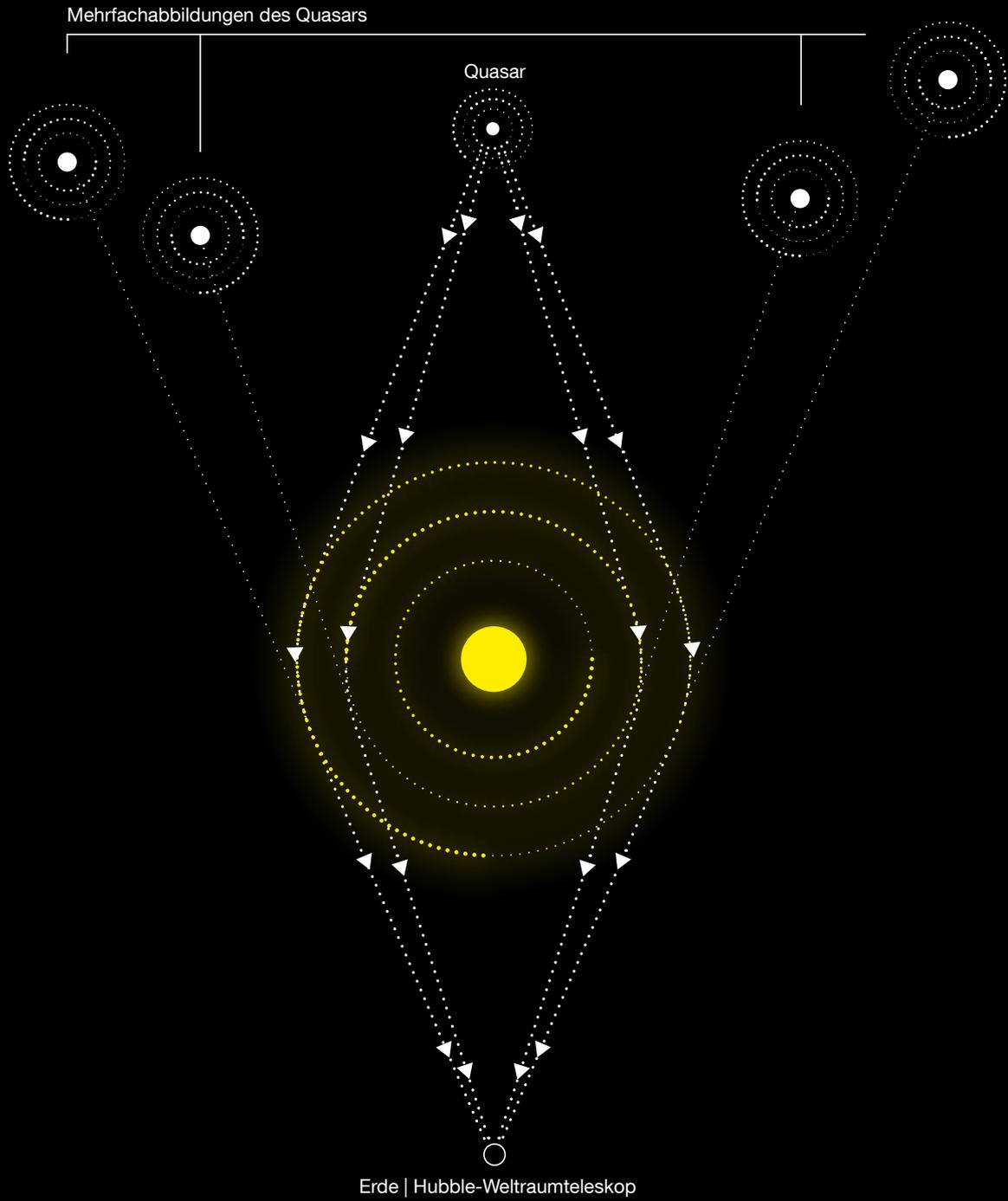
Gravitationslinsen-Bild von Quasaren, aufgenommen mit dem Hubble-Weltraumteleskop. Große Galaxien im Vordergrund wirken als Gravitationslinsen und erzeugen Mehrfachabbildungen des Quasars. Für jedes Abbild hat das Licht eine andere Strecke zurückgelegt und deshalb unterschiedlich viel Zeit zur Erde gebraucht. Aus diesen Zeitverzögerungen lässt sich die Hubble-Konstante bestimmen. ▷

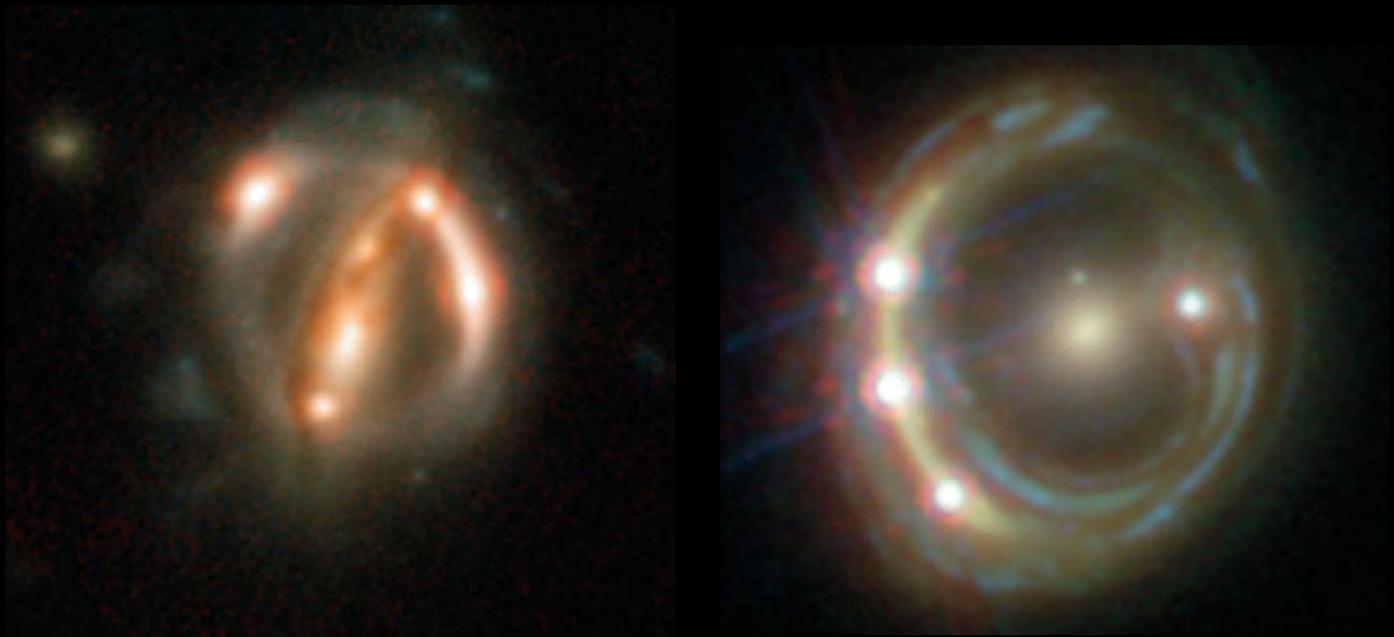
„Über Jahrzehnte konnte über die Größe der Hubble-Konstante nur spekuliert werden.“

Sherry Suyu

Wenn Professorin Sherry Suyu ihr Team zu einem Online-Meeting zusammenruft, werden nicht nur Neuigkeiten ausgetauscht, sondern es wird auch viel gelacht. „Wir haben unseren Spaß“, gibt die Forscherin zu, deren Projekt auf den Namen H0LiCOW hört. Dass hinter der skurrilen Zeichenfolge nicht nur eine ziemlich technische Projektbezeichnung steckt, sondern auch eines der spektakulärsten Forschungsergebnisse in der Astrophysik der letzten Jahre, ist spätestens seit dem Berkeley-Preis der American Astronomical Society klar, den Suyu als Leiterin des Projekts demnächst erhalten wird. Suyu ist Professorin für Beobachtende Kosmologie an der TUM und leitet eine Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Astrophysik.

Dass sich das Team der Forscherin online trifft, liegt nicht nur an der Corona-Pandemie. Die Gruppe ist, abgesehen von Suyus Münchner Kolleginnen und Kollegen, so weit über den Globus verstreut, dass maximal einmal jährlich ein persönliches Treffen möglich ist, das dieses Jahr erstmals ausfallen musste. Angesichts der erfolgreichen Arbeit lässt sich das leichter verschmerzen. Suyus Team lässt sich von großen Distanzen nicht einschüchtern, solche sind schließlich auch Thema ihrer Forschungen. Es geht um die Frage, wie unser Universum zu dem wurde, was es heute ist, und wie es sich künftig entwickeln wird. Eine zentrale Größe in diesem Forschungsfeld ist die Hubble-Konstante. Sie gibt an, wie schnell das Universum sich ausdehnt. Ihr genauer Wert hat weitreichende Konsequenzen über die Astrophysik hinaus, bis tief in die Grundlagen der Physik hinein, denn die Vorgänge auf astronomischen Skalen lassen sich mit aktuellen physikalischen Theorien nach wie vor nicht zufriedenstellend erklären. Vor allem in den letzten Jahren hat sich herauskristallisiert, dass es in unserem Verständnis der Ausbreitung des Universums eine verblüffende Lücke zu geben scheint. ▷





Hubble-Beobachtungen verschiedener Quasare mit Galaxien im Vordergrund. Das Gravitationsfeld der Galaxien wirkt als Gravitationslinse und erzeugt Mehrfachabbildungen (helle Punkte) der Quasare. Diese und andere Quasare wurden von dem Projekt H0LiCOW untersucht, um eine unabhängige Messung der Hubble-Konstante vorzunehmen.

Wie schnell expandiert das Universum?

„Über Jahrzehnte konnte über die Größe der Hubble-Konstante nur spekuliert werden“, erzählt Suyu. „In den 80ern und 90ern vermuteten manche einen Wert um 50, andere einen Wert um 100.“ Diese Debatte zu beenden war einer der Beweggründe zum Bau des Hubble-Teleskops, das ersten optischen Teleskops, das direkt im Weltall, ohne störende atmosphärische Einflüsse, Bilder von Galaxien und Sternen machen konnte. Es ermöglichte genaue Distanzmessungen ferner Objekte, mit deren Hilfe die Hubble-Konstante erstmals exakt bestimmt werden sollte. „2001 wurde das Ergebnis veröffentlicht: Prof. Wendy Freedman und ihr Team maßen einen Wert von 72 für die Hubble-Konstante, also in etwa in der Mitte“, so Suyu. Damit sei die Debatte fürs Erste beendet gewesen.

Etwa zehn Jahre später entbrannte die Diskussion aber aufs Neue: Beobachtungen der kosmischen Hintergrundstrahlung – einer Art Nachhall des Urknalls – eröffneten eine neue Methode, die Hubble-Konstante zu bestimmen. Der Wert aus diesen Messungen war allerdings niedriger, bei etwa 67. Gleichzeitig konnte aber durch Arbeiten von Nobelpreisträger Prof. Adam Riess und seiner Gruppe auch die Messgenauigkeit der Distanzmessungen weiter gesteigert werden, und so wird eine einfache Auflösung des Widerspruchs immer unwahrscheinlicher. „Es gibt eine Diskrepanz zwischen den beiden Ergebnissen, und niemand weiß, warum“, sagt Suyu. Die Diskussion werde sehr intensiv geführt, doch die Fronten seien verhärtet. Forschungsgruppen in aller Welt machten sich also daran, neue, unabhängige Methoden zur Bestimmung der Hubble-Konstante zu ersinnen, unter ihnen Suyu. Sie sah eine Möglichkeit, mit Methoden aus ihrem Forschungsfeld den Streit vielleicht beizulegen.



Linsen im Weltall

Suyu beschäftigte sich mit sogenannten Gravitationslinsen. Damit ist ein Effekt gemeint, der um große Massenansammlungen im Universum wie Galaxien oder Galaxienhaufen beobachtet werden kann. Sie wirken wie Linsen, die buchstäblich die Abbildungen der dahinter liegenden Objekte verzerren.

Dass Masse den Raum krümmt und so selbst Licht ablenkt, ist seit langer Zeit bekannt. Nicht immer ist der Effekt so stark wie bei Schwarzen Löchern, die Licht buchstäblich verschlucken. Große, weniger dichte Massenansammlungen bewirken, dass Objekte, die sich dahinter befinden, verzerrt oder sogar mehrfach am Himmel erscheinen, wie Spiegelbilder. Solche starken Gravitationslinsen wurden 1979 erstmals beobachtet. Das Licht der verschiedenen Bilder des gleichen Objekts kann dabei unterschiedlich lang im Raum bis zur Erde unterwegs sein, wie Wellen im Meer, die eine Insel umrunden und an einem bestimmten Punkt dahinter ein Schiff zum Schaukeln bringen. Suyu wusste von einer Schweizer Kollaboration namens COSMOGRAIL, die speziell die Bilder von Quasaren unter dem Einfluss von Gravitationslinsen un-

tersuchte. Das sind besonders leuchtstarke Objekte, deren Helligkeit wie das Licht einer Kerze flackert. Da das Licht der verschiedenen Abbilder eines Quasars unterschiedlich viel Zeit unterwegs ist, tritt das Muster des Flackerns manchmal um Tage oder Wochen verzögert auf – vergleichbar mit einem Echo, das durch die Laufzeit des Schalls verspätet zu hören ist. „Um das mit der nötigen Genauigkeit messen zu können, braucht man Beobachtungsdaten über mehrere Jahre. Zum Glück begannen Prof. Frédéric Courbin, Prof. Georges Meylan und ihre Forschungsgruppe unter dem Namen COSMOGRAIL ihre Beobachtungen bereits 2004“, erklärt Suyu. Die Forscherin wusste: Dieser Effekt könnte sich nutzen lassen, um die Hubble-Konstante zu messen, denn während der mehrere Milliarden Jahre dauernden Reise des Lichts durch den Raum dehnt sich das Universum stark aus. Diese Ausdehnung hat einen messbaren Einfluss auf die Laufzeitunterschiede im Licht der einzelnen Bilder des Quasars. Da die Ausdehnungsgeschwindigkeit mit der Hubble-Konstante verknüpft ist, sind so Rückschlüsse auf Letztere möglich. Suyu nahm Kontakt auf und ▶

Prof. Sherry Suyu

Die Astrophysikerin Sherry Suyu ist Professorin für Beobachtende Kosmologie an der TUM und über das MaxPlanck@TUM-Programm dort beschäftigt. Sie stammt aus Taiwan, hat in Kanada und Kalifornien Astrophysik studiert, absolvierte Forschungsaufenthalte in Bonn, Santa Barbara, Stanford und Taipei, bevor sie 2016 an die TUM kam. Sie ist Leiterin einer Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Astrophysik. Sie erhielt eine Reihe von Auszeichnungen, 2021 wird ihr der Lancelot M. Berkeley-Preis der American Astronomical Society für ihr Projekt HOLiCOW verliehen. Privat liebt sie Reisen und spielt wettkampfmäßig Badminton.

startete HOLiCOW, dessen „COW“ für „COSMOGRAIL Wellspring“ steht („Wellspring“ bedeutet „Ursprung“), während H_0 die Abkürzung für die Hubble-Konstante ist und das L „Linse“ bedeutet.

„Beide Teams, meines und das von COSMOGRAIL, hatten dasselbe Ziel im Kopf, aber jedem von uns fehlte, was der andere hatte“, so die Physikerin. Sie beschäftigte sich schon als junge Forscherin während ihrer Studienzzeit in Kalifornien mit der Vermessung der Massenverteilung in Galaxien anhand von Teleskopaufnahmen. Seither hat sie ihre Methoden mit ihren Münchner Kollegen Dr. Stefan Taubenberger und Dr. Akin Yildirim weiter verfeinert. Das war entscheidend, denn die genaue Massenverteilung zu kennen ist essenziell, um die Stärke der Linse und somit die Zeitverzögerung der Bilder zu berechnen. Ist all das bekannt, lässt sich daraus die Hubble-Konstante berechnen.

Beobachtungen mit dem Hubble-Teleskop

Soweit die Theorie – doch um die dafür benötigten besonders genauen Bilder der Linsengalaxien zu bekommen, war nur ein Teleskop gut genug. Suyu beantragte die Nutzung des Hubble-Teleskops. „Es ist sehr schwer, dort Beobachtungszeit zu bekommen“, sagt Suyu. Doch ihr Antrag wurde genehmigt. Suyu besorgte sich das Handbuch von Hubble und begann mit den Planungen. „Als die ersten Bilder von Hubble kamen, war das sehr aufregend“, erzählt sie. Die Analyse der Bilder selbst war äußerst aufwendig. „Das lag auch daran, dass wir eine Blindanalyse machten. Wir hatten die Daten so bearbeitet, dass wir erst ganz am Ende sehen konnten, welches Ergebnis wir bekommen würden“, erklärt die Forscherin. So wollte man jede Voreingenommenheit, die möglicherweise das Ergebnis verfälschen könnte, in dieser heiklen und intensiv geführten Diskussion vermeiden. „Wir vereinbarten, das Resultat auf jeden Fall zu publizieren, egal

wie es ausfallen würde.“ Die Enthüllung des Endergebnisses war also ein besonderer Moment, der erforderte, dass alle Gruppenmitglieder übereinstimmend die Analyse als abgeschlossen betrachteten. Es geschah bei einem Gruppentreffen in Kopenhagen, wo das ganze internationale Team zusammenkam, um sich auszutauschen. Das Ergebnis war ein Paukenschlag: Der Wert der Hubble-Konstante stimmte perfekt mit jenem überein, der durch Entfernungsmessungen ferner Objekte ermittelt wurde und unterschied sich von jenem, der aus der Hintergrundstrahlung stammte.

Noch sei die Debatte damit nicht endgültig entschieden, so Suyu. Nach wie vor werde versucht, Fehler und Messungenauigkeiten aufzuspüren, die die Diskrepanz in den Messungen der Hubble-Konstante erklären könnten. Doch die Aussicht, dass nicht Fehler, sondern neue physikalische Effekte dafür verantwortlich sind, erscheint plausibler denn je. So könnte es in der Anfangszeit des Universums eine neue Form von Dunkler Energie gegeben haben – jenes mysteriösen Effekts, der die Ausdehnung des Universums immer weiter beschleunigt. Das würde die Unterschiede in den Messungen erklären und so den Weg für die Erforschung völlig neuer Physik ebnen.

Heiliger Rauch

Das Projekt war also ein großer Erfolg. In den aktuellen Onlinekonferenzen mit Kooperationspartnern arbeitet Suyu bereits daran, das nächste Projekt auf Schiene zu bringen. Es beschäftigt sich wieder mit Gravitationslinsen, doch nun sollen nicht Quasare, sondern Supernova-Explosionen untersucht werden. Der Name des Projekts: HOLISMOKES – eine Abkürzung, die zu den Begriffen „Linsen“, „Supernova“ und „Untersuchung“ auch Wörter wie „Hochoptimiert“ enthält. Neben spektakulärer Astrophysik ist also auch wieder für Humor gesorgt.



Reinhard Kleindl

