Tommy Nawratil

WIS wissenschaft in die schulen!

Der Andromedanebel ist unser kosmischer Nachbar in rund zweieinhalb Millionen Lichtjahren Distanz – hinreichend nahe, um darin einzelne Sterne beobachten zu können.

100 Millionen Sterne, 1 Kandidat für Mikrogravitationslinsen, 0 Dunkle Materie

Dunkle Materie besteht vermutlich nicht aus leichten primordialen Schwarzen Löchern. Das ist das Ergebnis einer siebenstündigen Jagd nach Mikrogravitationslinsen in der Andromedagalaxie.

Das Frustrierende an der Dunklen Materie ist, dass man weiß, dass etwas da sein muss – aber was genau da ist, das weiß man nicht. Im Lauf der Jahrzehnte wurde bereits eine Vielzahl von Kandidaten auf Tauglichkeit überprüft. Neutrinos sind es nicht. MACHOs auch nicht. WIMPs? Vielleicht – aber bislang verlaufen alle Suchen danach vergeblich. Axionen sind auch noch im Rennen (siehe Glossar).

Aber winzige Schwarze Löcher, die sind es wahrscheinlich nicht. Zu diesem Schluss kommt ein Forscherteam um Hiroko Niikura von der Universität Tokio. Im Fachmagazin »Nature Astronomy« stellt es das Ergebnis seiner erfolglosen Suche nach Schwarzen Löchern mit einem Durchmesser von weniger als rund fünf Millimetern vor.

Massereich, aber unsichtbar

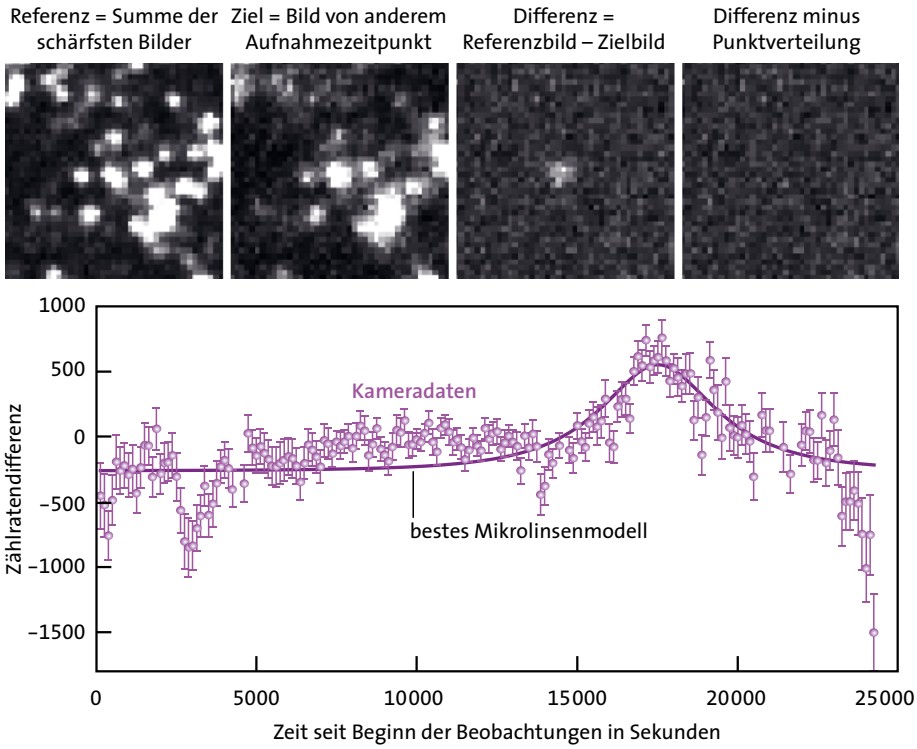
Prinzipiell benötigen Wissenschaftler die Dunkle Materie, um eine Vielzahl von kosmologischen Beobachtungen zu erklären, allen voran die Rotationsgeschwindigkeit von Galaxien wie unserem Milchstraßensystem oder der noch größeren Andromedagalaxie, auch Messier 31 genannt, in rund 2,5 Millionen Lichtjahren Entfernung. Denn ohne eine Form von Dunkler Materie rotierten die Galaxien in ihren Außenbezirken zu langsam. Irgendetwas sorgt dafür, dass die Sterne dort höhere Bahngeschwindigkeiten aufweisen – etwas, das selbst massereich, ansonsten aber völlig unsichtbar ist.

Massereich, aber unsichtbar – das klingt doch schon fast nach einem Schwarzen Loch, wie es im Buche steht. Der prinzipielle Vorteil von Schwarzen Löchern gegenüber bislang völlig hypothetischen Teilchen wie WIMPs oder Axionen ist unser Wissen um ihre Existenz. Leider kommen handelsübliche Schwarze Löcher, wie diejenigen, die aus einem Sternkollaps entstehen, oder solche, die sich in der extrem massereichen Variante im Zentrum von Galaxien befinden, als Dunkle-Materie-

Glossar

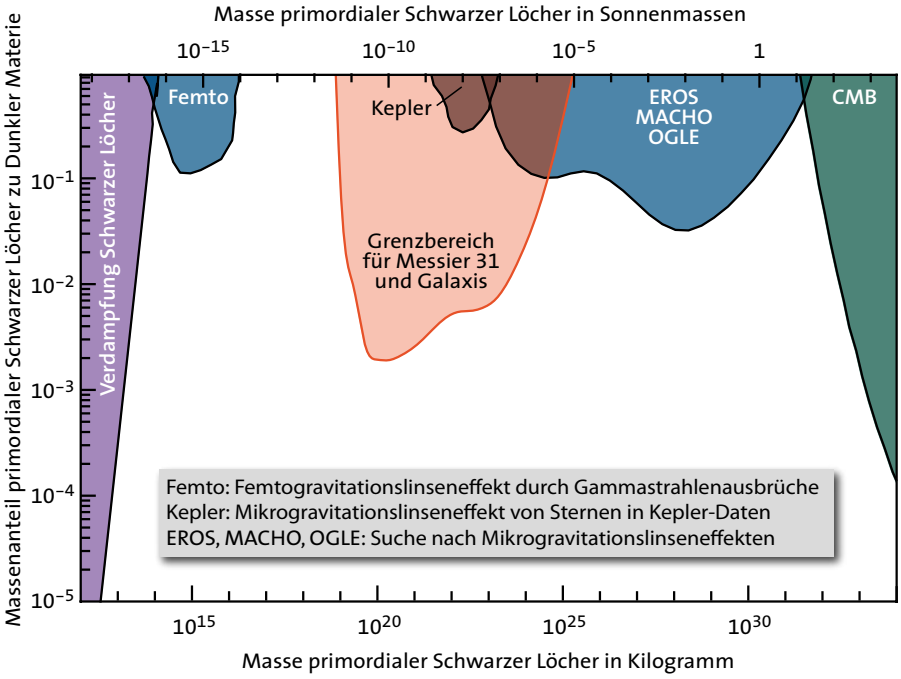
Axionen bezeichnen hypothetische Elementarteilchen, die in der Theorie der starken Kraft auftreten und die auch als Kandidat für die Dunkle Materie in Frage kommen.
Baryonische Materie setzt sich aus Atomen und deren Bestandteilen zusammen, zum Beispiel aus Protonen, Neutronen und Elektronen.
Hawking-Strahlung könnte am Ereignishorizont Schwarzer Löcher frei werden und besteht aus Teilchen, die aus dem Quantenvakuum hervorgehen.
MACHOs steht für »Massive Astrophysical Compact Halo Objects«. Dies sind hypothetische massereiche kompakte Objekte aus gewöhnlicher Materie im Halo einer Galaxie, zum Beispiel Braune Zwerge.
Neutrinos sind elektrisch neutrale Elementarteilchen sehr geringer Masse. Sie wechselwirken kaum mit anderer Materie und durchdringen sie mühelos.
Primordiale Schwarze Löcher sind deutlich masseärmer und kleiner als bekannte kosmische Schwarze Löcher. Sie könnten zur Dunklen Materie beitragen.
WIMPs sind ebenfalls postuliert, im Gegensatz zu den MACHOs allerdings schwach wechselwirkende schwere Elementarteilchen: »Weakly Interacting Massive Particles«.

SuW-Grafik, nach Hiroko Niikura et al.: Microlensing constraints on primordial black holes with Subaru/HSC Andromeda observations Nature Astronomy 3, 2019, fig. 4



Nach einer Analyse von 15 571 Kandidaten verblieb den Forschern nur ein einziger Mikrogravitationslinsenkandidat (obere Reihe). Das rechte Teilbild deutet auf eine sternförmige Quelle mit Punktverteilung hin. Die gemessene Lichtkurve des Kandidaten darunter passt recht gut zu dem berechneten Modell für eine Mikrogravitationslinse, die wiederum auf ein winziges, primordiales Schwarzes Loch hindeuten könnte.

SuW-Grafik, Hiroko Niikura et al.: Microlensing constraints on primordial black holes with Subaru/HSC Andromeda observations Nature Astronomy 3, 2019, fig. 4



Einige astronomische Suchprojekte konnten bereits die möglichen Massenbereiche und -anteile für primordiale Schwarze Löcher direkt einschränken (blau). Indirekt lässt sich schließen: Zu massereich ist nicht möglich (kosmischer Mikrowellenhintergrund, CMB, grün), zu klein geht auch nicht (schnelle Verdampfung, violett), und die Forscher um Hiroko Niikura decken nun einen weiteren Massenbereich ab (orange). Im einzig verbliebenen noch möglichen Massebereich lägen Schwarze Löcher mit 10^{-14} bis 10^{-11} Sonnenmassen bei einem Durchmesser größer als 0,06 Nanometer und kleiner als 60 Nanometer.

Kandidaten nicht in Frage. Das schließen Theorien zur Elemententstehung und der Massenverteilung sichtbarer, baryonischer Materie aus – denn sowohl stellare als auch extrem massereiche Schwarze Löcher sind nach gängiger Vorstellung ursprünglich aus solcher baryonischer Materie (siehe Glossar) entstanden.

Hier kommen nun primordiale Schwarze Löcher ins Spiel. Theoretischen Überlegungen zufolge mögen sie kurz nach dem Urknall – also primordial, uranfänglich – direkt aus Dichtefluktuationen entstanden sein, quasi ohne den Umweg über die baryonische Materie zu nehmen. Deshalb könnte es sie auch in sehr viel winzigeren und masseärmeren Varianten geben als diejenigen Objekte, die Astronomen mittlerweile vertraut sind und deren »Schatten« man inzwischen sogar mit viel Aufwand bildlich darstellen kann (siehe SuW 6/2019, S. 26).

Die Idee der Existenz primordialer Schwarzer Löcher ist nicht neu, und Wissenschaftler flirten bereits seit Jahrzehnten damit. Verschiedene Untersuchungen schlossen aber bereits einige Grade der Winzigkeit aus. So lassen Beobachtungen des kosmischen Mikrowellenhintergrunds beispielsweise Schwarze Löcher mit der Masse vergleichbar unserer Sonne nicht zu. Sind sie allerdings zu klein, wären sie in den rund 13,82 Milliarden Jahren seit dem Urknall längst verdampft – Stephen Hawking und die nach ihm benannte Strahlung lassen grüßen (siehe Glossar).

Übrig bleibt ein Massenbereich zwischen rund 10^{-11} und 10^{-5} Sonnenmassen, Pi mal Daumen vielleicht 10^{-9} Sonnenmassen: Schwarze Löcher mit Durchmessern von Haaresbreite. Gäbe es solche Schwarzen Löcher in hinreichend großer Anzahl, dann könnten sie die gesuchte Dunkle Materie sein.

Auf der Jagd nach Mikrogravitationslinsen

Hiroko Niikura und seine Kollegen begaben sich also auf die Jagd nach Mikrogravitationslinsen. Denn egal, wie unsichtbar ein derartiges winziges Schwarzes Loch sein mag, so beugt und bündelt es auf Grund seiner Gravitation doch das Licht eines zufällig dahinterliegenden Sterns. In einer Beobachtung würde sich das als ein winziges Aufflackern des Sterns bemerkbar machen. Wie ein derartiges Signal genau aussehen und wie lange es andauern sollte – also das Aussehen der Lichtkurve –

hängt von der Masse des Schwarzen Lochs ab. Es ist daher charakteristisch und lässt sich berechnen.

Die Forscher wissen, wie viel Dunkle Materie es geben sollte und wie sie räumlich verteilt ist – das folgt aus ihrer Gravitationswirkung auf die Umgebung. Deshalb konnten sie abschätzen, wie viele Mikrogravitationslinsenereignisse sie beobachten sollten, wenn sie rund hundert Millionen Sterne in den Haloregionen des Milchstraßensystems und der Andromedagalaxie sieben Stunden lang mit der »Hyper Suprime Cam« des Subaru-Teleskops auf Hawaii beobachten. Diese 870-Megapixel-Kamera für sichtbares Licht und nahes Infrarot hat ein Gesichtsfeld von 1,5 Grad. Die Astronomen mussten hierzu alle zwei Minuten belichten und erhielten so insgesamt 188 Aufnahmen – genug für eine Lichtkurve. Jedes einzelne Pixel dieser 188 auswertbaren Bilder enthält eine Vielzahl von Sternen, und diese Pixel wurden mit einem Referenzwert verglichen. Daraus ließ sich dann auf die gesuchten charakteristischen Lichtkurven schließen – sollten sie denn vorhanden sein.

Zunächst fand die automatische Bildanalyse insgesamt 15 571 Kandidaten, die Helligkeitsschwankungen zeigten. Darunter befanden sich auch bekannte veränderliche Sterne wie beispielsweise Cepheiden. Sie wurden aussortiert, womit den Astronomen immer noch 11 703 Kandidaten blieben. Diese wurden dahingehend überprüft, ob ihre Lichtkurven dem gesuchten charakteristischen Signal entsprachen. Die meisten taten das nicht, und nun blieben lediglich 66 Kandidaten übrig, welche die Forscher persönlich inspizierten. So fanden sie heraus, dass die automatische Bildanalyse manchmal in der Nähe heller Sterne oder am Rand der verwendeten CCD-Detektoren nicht zuverlässig genug funktioniert hatte und aussah wie ein Gravitationslinsenereignis. Diese Phantome wurden aussortiert, genauso wie ein Asteroid, der in einem Fall durch das Bild zog.

Letztlich blieb ein einziger Kandidat übrig: eine mögliche Mikrogravitationslinse, eventuell ein primordiales Schwarzes Loch. Gerechnet hatten die Wissenschaftler allerdings mit rund tausend solcher Ereignisse. Einen einzigen Kandidaten kann man hingegen noch nicht einmal ruhigen Gewissens als Stichprobe bezeichnen.

Deshalb bleibt nur der Schluss, dass es im observierten Himmelsareal keine derartigen winzigen Schwarzen Löcher gibt. Und da dieses Beobachtungsfeld durchaus repräsentativ für das Universum ist, muss die Liste der Dunkle-Materie-Kandidaten vermutlich um einen Eintrag gekürzt werden (siehe Grafik S. 24 unten). Es wird auch langsam eng, was die Existenz primordialer Schwarzer Löcher überhaupt angeht. Auf der möglichen Massenskala ist nicht mehr viel unerforschter Platz übrig, und die weißen Flecken wurden mit diesem Fachartikel weiter dezimiert. Aber immerhin können sich die Jäger nach Dunkler Materie nun darüber freuen, dass sie genauer wissen, was es in unserem Universum nicht gibt.

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

Literaturhinweis

Niikura, H., et al.: Microlensing constraints on primordial black holes with Subaru/HSC Andromeda observations. Nature Astronomy 3, 2019

WIS Didaktische Materialien: www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051349

SPEZIAL Physik Mathematik Technik

AUCH ALS DIGITAL- ODER KOMBIABO

Bei der **Spektrum Spezial**-Reihe **PMT** dreht sich alles um die Naturwissenschaft: von Physik über Astronomie, Geowissenschaften, Informatik bis hin zur Mathematik. Jahresabo der Reihe (4 Ausgaben pro Jahr): Print € 30,80; Digital € 21,–; Kombiabo Print + Digital € 34,80 (Printpreise inkl. Versandkosten Inland)

www.spektrum.de/spezialabo

UNSPLASH / LIONELLO DELPICCOLO (https://unsplash.com/photos/qEswHv0mitc)