

Becky Smethurst

DAS
KLEINE BUCH
VOM
**GROSSEN
KNALL**

und was im Universum
seitdem geschah

dtv

dem sie arbeiten konnte, ohne jemanden zu verärgern oder eine neue Kontroverse zu verursachen (die Ergebnisse ihrer Doktorarbeit hatten einen Streit unter Astronomen ausgelöst – und stellten sich später als absolut korrekt heraus).⁸ Sie glaubte, wenn sie schlicht die Geschwindigkeit messen würde, mit der Sterne sich um die Zentren von Galaxien in unterschiedlichen Entfernungen drehten, wäre sie auf der sicheren Seite.

Da sich die meisten Sterne eher im Zentrum einer Galaxie befinden, sorgt das Gesetz der Schwerkraft dafür, dass die Geschwindigkeit, mit der sich Sterne um das Zentrum drehen, abnimmt, je weiter man nach außen kommt. Das lässt sich gut an den Planeten in unserem Sonnensystem erkennen: Jene Planeten, die sich näher an der Sonne befinden, drehen sich viel schneller um die Sonne als die Planeten, die weiter entfernt von der Sonne ihre Bahnen ziehen. Das liegt daran, dass 99,8 Prozent der Masse unseres Sonnensystems in der Sonne konzentriert sind. Vera Rubin wollte nun klären, ob sich Vergleichbares in viel größerem Maßstab finden lässt, nämlich bei Sternen, die innerhalb von Galaxien kreisen. Folglich musste sie die Geschwindigkeit messen, mit der sich Sterne bewegen. Das klingt zunächst sehr kompliziert, ist aber eher eine klassische Aufgabe der Physik.

Licht ist eine Welle (falls es nicht gerade ein Teilchen ist – Licht hat leider eine kleine Persönlichkeitsstörung), genau wie der Schall. Fährt ein Krankenwagen mit Sirene auf Sie zu, steigt die Tonhöhe in Ihrem Ohr an, da die Schallwelle auf dem Weg zum Ohr gestaucht wird; entfernt sich der Krankenwagen von Ihnen, wird die Schallwelle gedehnt und die Tonhöhe sinkt. Eben dies geschieht mit Licht. Man nennt dies den Doppler-Effekt, wobei sich in diesem Fall anstelle der Tonhöhenverschiebung durch das Stauchen und Dehnen der Lichtwellen die Farbe des Lichts ändert. Je stärker die Lichtwellen gedehnt werden, umso mehr verschiebt sich das Licht ins Rote, wohingegen gestauchte Lichtwellen blauer erscheinen. Wir können also bei Licht, das von einer oder der anderen Seite der Galaxie unterwegs ist, unterschiedliche Doppler-Effekte erkennen. Und dieser Doppler-Effekt verrät, wie schnell Sterne unterwegs sind.

Als Vera Rubin die Andromeda-Galaxie betrachtete, stellte sie fest, dass sich die Sterne auf den Außenbahnen der Galaxie keineswegs langsamer drehten; sie waren vielmehr in etwa dem gleichen Tempo unterwegs wie jene im Zentrum. Was äußerst merkwürdig ist und ganz sicher nicht das, was man zunächst erwarten würde. Dieses Ergebnis legte nahe, dass die größte Masse sich nicht im Zentrum von Galaxien befindet – sondern in den Außenbereichen. Die meisten Sterne jedoch befinden sich in der Mitte. Das heißt, es muss eine riesige Menge Materie geben, die für uns unsichtbar in die Galaxie eingebettet ist. Wir nennen dies inzwischen Dunkle-Materie-Halos.

Ein zweiter Beweis für die Existenz Dunkler Materie ergab sich aus dem Vergleich zwischen der Menge an Materie, die laut Gravitation in den Galaxien vorhanden sein

müsste und der Menge an Materie, die wir im Sternenlicht tatsächlich entdecken konnten. Wie Einstein erkannte, krümmen massereiche Objekte die Raumzeit, durch die das Licht reist. Es mag sich nach einem seltsamen Konzept anhören, aber auch Linsen ändern den Weg des Lichts. Ihre Brille oder Ihre Kontaktlinsen lenken das Licht so, dass die Objekte, entweder in der Nähe oder in der Ferne, entsprechend Ihrer Augen fokussiert werden können. Massereiche Galaxienhaufen haben einen ähnlichen Effekt auf Hintergrundgalaxien, sodass der Lichtweg auf dem Weg zu uns um den Haufen herum gekrümmt wird. Passt die Anordnung ganz genau, kann es sogar geschehen, dass die Hintergrundgalaxie einen Lichtring um die Vordergrundgalaxie bildet. In der Astronomie nennen wir dies einen Einstein-Ring, doch womöglich haben Sie einen ähnlichen Effekt schon am Esstisch bemerkt, wenn bei einem romantischen Essen mit Kerze und Weinglas mit Stiel genau dieser Lichtring aufgetaucht ist.

Die Menge an Licht, die zu einem Ring gekrümmt wird, sagt etwas darüber aus, wie viel Materie in der Vordergrundgalaxie als Linse wirkt. Und auch hier stellte sich heraus: Wenn wir solche galaktischen Linsen beobachten, ergibt sich aus der Gravitation, dass da viel mehr Materie sein müsste, als wir im Licht der Sterne tatsächlich sehen können.

Die Community der Astronominnen und Astronomen diskutierte in den vergangenen Jahrzehnten ausführlich darüber, ob man diese restliche Materie mit sehr lichtschwachen Sternen, Neutronensternen und Schwarzen Löchern erklären könnte. Zusammen nennen wir die drei »MACHO« – Massive Astrophysical Compact Halo Objects (»massereiche, astrophysikalische, kompakte Halo-Objekte«). Sehr lichtschwache Sterne leuchten häufig im Infrarot-Bereich, da sie noch heiß sind, folglich können wir ungefähr abschätzen, wie viele es davon gibt. Man kann Neutronensterne in anderen Lichtwellenlängen wie Radiowellen oder Röntgenstrahlen ausmachen, weshalb wir auch sie ungefähr zählen können. Stellare Schwarze Löcher in unserer Milchstraße funktionieren wie »Mikrolinsen«, denn sie erhellen aus unserem Blickwinkel einen Stern, wenn er vor ihnen vorbeizieht. Berücksichtigt man nun, wie oft man dies pro Jahr beobachten kann und wie groß die Chance ist, dass solche Ereignisse in der für die Erde passenden Ausrichtung stattfinden, kann man schlussfolgern, wie viele stellare Schwarze Löcher es gibt, auch wenn wir sie nicht alle sehen. Zählt man nun all die sehr lichtschwachen Sterne, Neutronensterne und stellaren Schwarzen Löcher zusammen und berechnet damit, wie schwer all diese Objekte sein dürften, haben wir noch immer nicht genug Materie beisammen, wie man sie für die erwähnten Linseneffekte eigentlich bräuchte.

Einige Astronominnen und Astronomen zeigen sich überzeugt, dass man all dies erklären könne, wenn Einstein sich bei der Schwerkraft getäuscht habe. Dieser Forschungsbereich wird auch als MOND abgekürzt – MODified Newtonian Dynamics (»modifizierte Newtonsche Dynamik«). Er postuliert, dass nicht Einstein, sondern

vielmehr Newton die Sachlage richtig erkannt habe⁹ und wir, statt Dunkler Materie nachzulaufen, nur Newtons Mathematik leicht optimieren müssten, um zu erklären, was bei größeren Geschwindigkeiten und höheren Massen geschieht. Allerdings versagen diesen Theorien, wenn sie andere Beobachtungen erklären sollen, die wir von großen Galaxienhaufen gemacht haben, und wenn sie das Problem der fehlenden Materie lösen sollen. Das derzeit größte Problem für MOND ist ihre Vorhersage, dass Gravitationswellen sich mit anderer Geschwindigkeit im All ausbreiten als mit Lichtgeschwindigkeit. Dabei wurde 2017 das Gegenteil bewiesen, als man im gleichen Augenblick die Gravitationswellen *und* den Lichtstrahl aufzeichnen konnte, die durch die Verschmelzung zweier Neutronensterne zu einem Schwarzen Loch erzeugt worden waren. Keine der MOND-Theorien haben auch nur annähernd all das erklärt, was Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie so elegant löste, und so müssen wir wohl hinnehmen, dass Dunkle Materie in irgendeiner Form im Universum existiert.

Welche Form die Dunkle Materie annimmt, ist eine Frage, die von Teilchenphysikern beantwortet werden muss. Sie forschen nach WIMPs – Weakly Interacting Massive Particles (»schwach wechselwirkende massereiche Teilchen«; zugleich heißt *wimp* aber auch »Schwächling«, Anm. d. Übersetzers) – ganz im Gegensatz zu den MACHOs, nach denen die Astronomen zuerst suchten. Obwohl Teilchenphysiker die Teilchen »massereich« nennen, würden Normalsterbliche sie nicht unbedingt in diese Schublade einsortieren: Sie sind ungefähr hundertmal massereicher als ein Proton (das wiederum etwa den oktillionsten Teil eines Kilogramms wiegt).

Teilchenphysiker haben eine wirklich wunderschöne Theorie vorgelegt. Man nennt sie das Standardmodell der Teilchenphysik, das alle Materie-Bausteine zusammenfügt – jene Teilchen, die die vier Wechselwirkungen regeln (Gravitation, Elektromagnetismus, die starke Wechselwirkung und die schwache Wechselwirkung) – und darüber hinaus erklärt, warum Dinge überhaupt eine Masse haben. All dies verdichtet sie in einer einzigen Formel, die umfassend beschreibt, was wir im Universum sehen. Allerdings hat das Standardmodell ein paar Probleme, worunter die Tatsache, dass es die Dunkle Materie überhaupt nicht mit einschließt, das größte sein dürfte. Einige Teilchenphysiker bemühen sich daher um eine Erweiterung ihrer schönen Theorie, die vermutlich etwas von ihrer Eleganz verlieren dürfte, auf dass auch die Dunkle Materie hineinpasst. Damit ihnen das gelingt, müssen die Forscher herausfinden, woraus Dunkle Materie besteht – am besten, indem sie welche nachweisen.

Kein kleines Problem: Wie sucht man nach etwas derartig Winzigem, das weder zur Wechselwirkung mit Licht noch mit anderer Materie in der Lage ist? Ein Weg könnte sein, just den Moment festzuhalten, in dem ein Teilchen Dunkler Materie mit einem Teilchen gewöhnlicher, baryonischer Materie kollidiert. Wir sollten dann in der Lage

sein, die Änderung des Impulses, oder der Energie, des anderen Teilchens zu identifizieren, wie wenn beim Poolbillard der Spielball einen farbigen Ball trifft. Kollisionen zwischen Teilchen sind allerdings wesentlicher Bestandteil des alltäglichen Lebens in einem gewärmten Medium, etwa in Wasser oder der Luft. Daher muss der Physiker zunächst das Medium auf ganz knapp über den absoluten Nullpunkt herunterkühlen, damit die Teilchen keine Energie mehr haben und sich kaum noch regen. Das müssen sie sehr tief unter der Erdoberfläche tun, um sich dort vor anderer Strahlung, wie etwa Kosmischer Strahlung aus dem All, abzuschirmen, die für einen Ausschlag in der Energie des Teilchens sorgen könnte. Hat man dann ein unglaublich herabgekühltes, unglaublich gut abgeschirmtes Teilchen tief unten in der Erde vorbereitet, muss man auf jenen Moment warten, bis man den Energieausschlag feststellen kann, der von einer unwahrscheinlichen, aber nicht unmöglichen Kollision mit einem Dunkle-Materie-Teilchen herrührt.

Solche Experimente werden seit 1996 durchgeführt. Und wir warten immer noch.

8 Vera Rubin hatte zuvor die Ausdehnungsrate des Universums untersucht und festgestellt, dass es sich in unterschiedlichen Richtungen unterschiedlich schnell ausdehnt. Damals führte dies zu heftigen Diskussionen, bis man schließlich erkannte, dass dies, wenn auch nicht überall, so doch an vielen Stellen richtig ist. Als sei man vor lauter Bäumen nicht in der Lage, den Wald zu sehen.

9 Newtons Gesetz zur Schwerkraft erklärt das Verhalten alltäglicher Objekte, die sich hier auf der Erde mit geringer Geschwindigkeit bewegen, völlig korrekt. Doch anhand der ursprünglichen Gleichungen von Newton gelingt es nicht, die Umlaufbahn von Merkur oder die sich rund um ein Schwarzes Loch aufsteigende Materie richtig zu berechnen. Einsteins Gesetz zur Schwerkraft hingegen funktioniert sowohl im Alltag als auch beim Verhalten von unfassbar schnellen, extrem schweren Objekten im Weltraum.

