UNENDLICHE WEITEN

Das Universum

Das All fasziniert die Menschen – seit Urzeiten und überall auf der Welt. Wie groß ist es? Wie entsteht es? Gibt es Leben da draußen?

Über Jahrhunderte lösen große Wissenschaftler wie Johannes Kepler, Galileo Galilei, Isaac Newton, Albert Einstein oder Stephen Hawking viele Rätsel des Universums. Doch jede neue Erkenntnis wirft auch neue Fragen auf. Zum Beispiel, warum der Großteil des Kosmos aus sogenannter Dunkler Materie und Dunkler Energie besteht – über die wir bis heute kaum etwas wissen.

Seit Jahrhunderten wird das All von der Erde aus beobachtet. Mit immer besseren Instrumenten wird untersucht, was bei uns an Strahlung oder Teilchen ankommt. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist es auch möglich, das Universum vom All aus zu erforschen. Sonden, Roboter und Satelliten senden Daten zur Erde, im Weltraum stationierte Teleskope können in bisher unvorstellbare Tiefen des Raums blicken. Seit 2015 können Wissenschaftler*innen sogar Gravitationswellen nachweisen und als Messmethode nutzen.

Das Very Large Telescope (VLT)

Das VLT ist das höchstentwickelte optische Instrument der Welt und der ganze Stolz der europäischen Astronomie. Es besteht aus vier Hauptteleskopen mit je 8,2 Metern Spiegeldurchmesser und vier Hilfsteleskopen. Jedes der Teleskope kann bei einer Belichtungszeit von einer Stunde Bilder von Himmelsobjekten aufnehmen, die vier Milliarden Mal schwächer leuchten als alles, was das menschliche Auge ohne Hilfsmittel wahrnehmen kann.

Das VLT der Europäischen Südsternwarte (ESO) steht auf dem Gipfel des Cerro Paranal in der Atacama-Wüste in Chile.

© Babak Tafreshi, ESO Photo

GOETHE INSTITUT

UNSERE HEIMAT IM ALL

Unser Sonnensystem nimmt im Universum einen eher bescheidenen Platz ein. Es ist ein winziger Teil unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße. Neben unserer Sonne gibt es hier noch 100 bis 400 Milliarden weitere Sterne. Man kann sich die Milchstraße als flache Scheibe vorstellen, die sich dreht. Sie hat einen Durchmesser von 120.000 Lichtjahren, ist aber nur etwa 1000 Lichtjahre dick. In ihrem Zentrum liegt ein enormes Schwarzes Loch. Es ist vier Millionen Mal so schwer wie unsere Sonne.

Für uns Menschen ist schon die Größe der Milchstraße kaum vorstellbar. Sie ist aber nur ein sehr, sehr kleiner Teil des gesamten Universums, das aus mehreren Hundert Milliarden Galaxien besteht.

Unser Sonnensystem

Das Sonnensystem, in dem wir leben, bildet sich vor rund 4,5 Milliarden Jahren aus einer Scheibe aus wirbelndem Gas und Staub. Es besteht aus einer Sonne und acht Planeten. Planeten sind große, runde Himmelskörper, die um einen Stern kreisen und nicht selbst leuchten. Sie sind allein auf ihrer Umlaufbahn, weil sie durch ihre verhältnismäßig große Masse alle weiteren Himmelskörper anziehen, die auf ihrem Weg liegen. Die Römer geben den Planeten die Namen, die sie noch heute tragen.

Neptun ist der einzige Planet, der von der Erde aus nicht mit bloßem Auge zu erkennen ist. Er wird daher erst 1846 vom Astronomen Johann Gottfried Galle entdeckt. Zuvor hat bereits der Mathematiker Urbain Le Verrier die Existenz und die ungefähre Position dieses Planeten berechnet. Galle weiß also, wonach er suchen muss.

Neptun

Den Eisplaneten Uranus entdeckt der deutsch-britische Astronom und Musiker Wilhelm Herschel erst 1781. Uranus hat mindestens 27 Monde, viele von ihnen heißen wie Figuren in den Werken von William Shakespeare.

Uranus

Von der Erde aus gesehen funkelt kein anderer „Stern" heller als die Venus. Am Abend ist sie der erste Himmelskörper, der sichtbar wird, und am Morgen der letzte, der verschwindet. Deshalb wird sie auch „Abendstern" oder „Morgenstern" genannt. Doch auch die Venus leuchtet nicht selbst. Sie reflektiert das Licht der Sonne – wie alle anderen Planeten auch.

Venus

Wie alle leuchtenden Sterne strahlt unsere Sonne Energie ab. Diese Energie stammt aus Reaktionen im Inneren der Sonne, bei denen Wasserstoffkerne zu Heliumkernen verschmelzen. Diese Prozesse sind die Quelle fast aller nutzbaren Energie auf der Erde.
Lange sind die Menschen davon überzeugt, dass die Erde im Mittelpunkt des Universums steht. Der Astronom und Mathematiker Nikolaus Kopernikus bezweifelt das im Jahr 1514. Er ist sich sicher, dass die Planeten und damit auch die Erde um die Sonne kreisen. Eine schockierende Vorstellung! Erst im 17. Jahrhundert setzt sich dieses Weltbild allmählich durch.

Sonne

Welches Glück, dass die Erde genau den richtigen Abstand zur Sonne hat. Nur so konnte sich das Leben auf der Erde entwickeln. Näher an der Sonne wäre es zu heiß und weiter weg zu kalt. Nur in dieser bewohnbaren Zone kann Wasser dauerhaft in flüssigem Zustand bleiben. Das ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung von Leben, wie wir es kennen.

Erde

Jupiter ist bei Weitem der größte Planet unseres Sonnensystems. Der riesige Gasplanet hat fast dieselbe Zusammensetzung wie die Sonne – doch er ist immer noch zu leicht, um sich zu entzünden und selbst zu einem Stern zu werden. Jupiter hat mindestens 79 Monde.

Jupiter

Merkur

Merkur schafft einen Umlauf um die Sonne in nur 88 Tagen. Die Römer geben ihm deshalb den Namen des schnellen Götterboten Merkur. Der kleinste Planet unseres Sonnensystems hat eine extrem dünne Atmosphäre. Die Temperaturen auf seiner Oberfläche schwanken deshalb zwischen -173 Grad Celsius in der Nacht und +427 Grad Celsius im Sonnenlicht.

Der Mars besteht aus eisenhaltigem Gestein. Seine orangerote Farbe ist nichts anderes als Rost! Der größte Marsvulkan ist über 20 Kilometer hoch. Der höchste Berg der Erde, der 8848 Meter hohe Mount Everest, sieht daneben ziemlich klein aus. Mehrere Marsroboter haben den Planeten schon geologisch untersucht.

Mars

Die berühmten Ringe des Saturn bestehen aus unterschiedlich großen Eis- und Gesteinsbrocken. Insgesamt gibt es mehr als 100.000 Ringbänder in einer flachen Scheibe. Auch andere Planeten haben Ringe, nur sind sie nicht so deutlich ausgebildet und deshalb nicht so gut zu sehen.

Saturn

Sonnenmission Solar Orbiter

Am 10. Februar 2020 macht sich eine Sonde der europäischen Raumfahrtagentur ESA auf den Weg. Sie soll erstmals einen Blick auf die Pole der Sonne ermöglichen und ist dazu mit leistungsstarken Instrumenten ausgestattet. Einige davon wurden am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Göttingen entwickelt und gebaut. Direktor Sami Solanki und sein Team erhoffen sich Erkenntnisse zum Sonnenwind und zum Entstehungsort der Magnetfelder. Diese sind Ursache für viele noch immer ungeklärte Vorgänge. Warum zum Beispiel wechseln sich etwa alle elf Jahre Zeiten sehr starker Eruptionen mit ruhigeren Phasen ab? Warum heizt sich die Sonnen-Korona auf unvorstellbare eine Million Grad Celsius auf, obwohl die Gasschichten darunter „nicht mehr" als 10.000 Grad Celsius heiß sind?

→ Solar Orbiter wird der Sonne so nahe kommen wie keine andere Sonde zuvor.
© ESA/ATG medialab

Leben auf Enceladus?

Von 2004 bis 2017 sammelt die Raumsonde Cassini Daten über den Saturn und seine Monde. Diese Daten werden bis heute ausgewertet. Für Frank Postberg von der Freien Universität Berlin ist dabei der Saturnmond Enceladus besonders interessant. Die Cassini-Daten zeigen: Unter seiner 30 Kilometer dicken Eisschicht befindet sich ein 60 Kilometer tiefer Ozean. Flüssiges Wasser ist eine wesentliche Bedingung für Leben, wie wir es kennen. Deshalb stellt sich die Frage, ob es auf Enceladus extraterrestrisches Leben gibt. Auch hier kann Cassini weiterhelfen: Am Südpol von Enceladus gibt es Eisvulkane, die einen Nebel aus Gas, Wasserdampf und Eis ausstoßen. In diesem Nebel nimmt die Sonde Proben, die den Forscher*innen Auskunft über die Eigenschaften des Ozeans geben. Und es sieht tatsächlich so aus, als wenn es hier einfaches Leben geben könnte.

→ Eisvulkane am Südpol des Saturnmonds Enceladus.
© NASA/JPL-Caltech

Ein Planet wird geboren

Astronom*innen kennen bisher mehr als 4000 Planeten, die um Sterne außerhalb unseres Sonnensystems kreisen. Etwa 96 Prozent dieser sogenannten Exoplaneten sind deutlich größer als die Erde, eher vergleichbar mit den Gasriesen Neptun oder Jupiter. Aber wie entstehen Planeten eigentlich? Forscher*innen vermuten, dass sie sich in den flachen protoplanetaren Scheiben entwickeln, die junge Sterne umgeben. Miriam Keppler vom Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg hat in einer solchen Scheibe um den Stern PDS 70 einen jungen Riesenplaneten entdeckt, der auf seiner Bahn um den Mutterstern Materie aufsammelt. Er wird immer größer und schwerer, dadurch rückt er immer näher an seinen Stern heran. So räumt er allmählich seine Umlaufbahn frei – bis er alle Materie in diesem Bereich aufgenommen hat und nun allein auf seiner Bahn kreist.

→ Ein neuer Planet entsteht – zu erkennen als heller Punkt rechts von der Bildmitte. Das grelle Licht des Muttersterns in der Mitte ist abgedeckt.
© ESO/A. Müller et al.

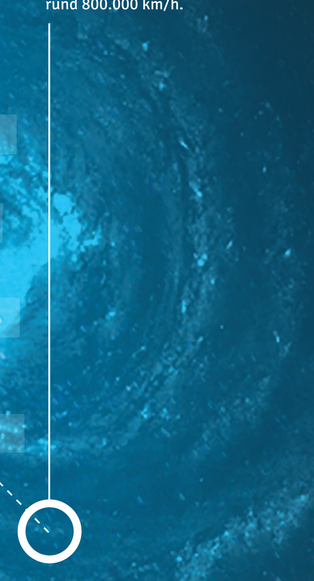
Sagittarius A*

Reinhard Genzel und seine Mitarbeiter*innen vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik untersuchen das Schwarze Loch Sagittarius A* im Zentrum unserer Milchstraße. Im Jahr 2020 wird Reinhard Genzel dafür mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Der Stern S2 umrundet Sagittarius A* sehr nah und mit hoher Geschwindigkeit. Die Wissenschaftler*innen beobachten ihn seit fast 30 Jahren. So können sie 2020 ein Phänomen beweisen, das Albert Einstein bereits in der Allgemeinen Relativitätstheorie beschreibt: S2 umläuft das Schwarze Loch nicht in einer geschlossenen Ellipse, sondern seine Umlaufbahn zeichnet eine große Rosette. Immer wenn der Stern sich am nächstgelegenen Punkt zum Schwarzen Loch befindet, ändert er seine Umdrehungsbahn ein wenig. Die Beobachtung gelingt mithilfe des Instruments Gravity. Dabei werden alle vier Teleskope des Very Large Telescope in Chile zu einem großen Messgerät zusammengeschaltet.

→ Der Stern S2 umkreist das Schwarze Loch Sagittarius A in einer Rosettenbahn.*
© ESO/L. Calçada

Wir in der Milchstraße

Unsere Sonne liegt im Orion-Arm der Milchstraße und umkreist das Zentrum der Galaxis in einem Abstand von 25.000 bis 28.000 Lichtjahren. Bis sie das zentrale Schwarze Loch Sagittarius A* einmal umrundet hat, vergehen 220 bis 240 Millionen Jahre – und das bei einer atemberaubenden Umlaufgeschwindigkeit von rund 800.000 km/h.



GOETHE INSTITUT

WEIT ENTFERNT IN RAUM UND ZEIT

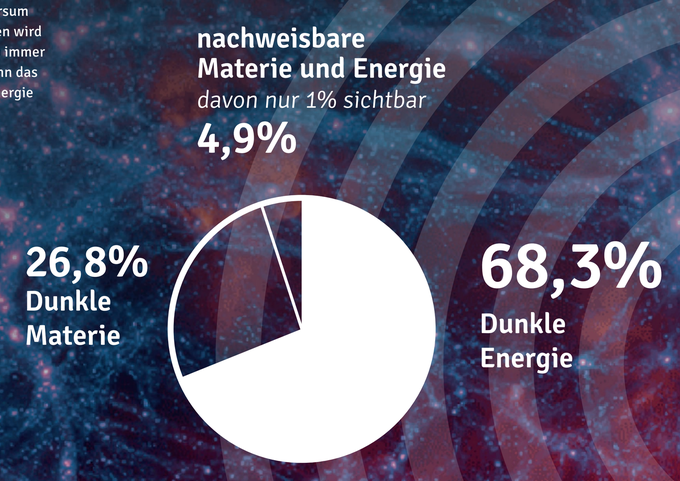
Unser Wissen über das Universum ist in den letzten 100 Jahren unvorstellbar schnell gewachsen. Heute stehen den Wissenschaftler*innen Raumsonden und Hochleistungsteleskope zur Verfügung, die Einblicke in die Tiefen des Universums erlauben. Dabei werden alle Bereiche der elektromagnetischen Strahlung genutzt – von Radiowellen bis zur hochenergiereichen Gammastrahlung. Denn jeder Spektralbereich eröffnet ein eigenes Fenster zum All. Superrechner werten die riesigen Datenmengen aus. So können kosmische Phänomene aller Art in bisher nicht gekannter Genauigkeit untersucht werden. Im Jahr 2015 wurden die Untersuchungsmöglichkeiten um eine weitere, völlig neuartige Methode ergänzt: Jetzt können Wissenschaftler*innen auf der Erde auch Gravitationswellen messen – und damit astronomische Ereignisse erkunden, für die es bisher noch gar keine Messmethode gab.

Dunkle Materie und Dunkle Energie

Das Universum besteht nur zu einem sehr kleinen Teil aus Sternen, Planeten und anderen Himmelskörpern, die wir beobachten können. Der Rest – immerhin 95 Prozent – sind Dunkle Materie und Dunkle Energie.

Dunkle Materie ist nicht sichtbar, sie macht sich aber durch ihre Gravitation bemerkbar. Würde es die Dunkle Materie nicht geben, müsste sich die sichtbare Materie im All anders verhalten. Zum Beispiel müssten Galaxien wie unsere Milchstraße dann auseinanderfliegen.

Dunkle Energie ist die Bezeichnung für einen Effekt, mit dem Astronom*innen die beschleunigte Ausdehnung des Universums erklären. Aufgrund der gegenseitigen Anziehung von Massen müsste sich das Universum in seiner Ausdehnung verlangsamen. Gemessen wird aber das Gegenteil: Das Universum dehnt sich immer schneller aus! Das lässt sich nur erklären, wenn das Universum zu etwa 70 Prozent aus Dunkler Energie besteht.



Die Suche nach den Geisterteilchen

Dunkle Materie, die im Weltall fünfmal häufiger vorkommt als „normale" Materie, können wir weder sehen noch direkt messen. Forscher*innen vermuten, dass sie aus bisher unbekannten Elementarteilchen besteht, die mit der sichtbaren, „normalen" Materie nur sehr schwach interagieren. Mit dem CRESST-Experiment suchen sie nach diesen Teilchen: Unter dem Gran Sasso, einem Bergmassiv in Italien, befindet sich ein Untergrundlabor mit hochsensiblen Detektoren – in jeder Richtung abgeschirmt von mehr als 1400 Metern Fels. Alle „normalen" Teilchen, die aus dem Weltall auf die Erde treffen, werden von der Materie des Bergs abgefangen. Die „dunklen" Elementarteilchen sollten den Fels dagegen nahezu ungehindert durchdringen. Die eigentlichen Messinstrumente sind ultrareine Kalziumwolframat-Kristalle, die auf fast –273 Grad Celsius gekühlt werden. Wenn ein Dunkle-Materie-Teilchen auf einen der Kristalle stößt, steigt die Temperatur um etwa ein millionstel Grad an. Diesen minimalen Unterschied messen hochempfindliche Thermometer.

→ Zwei Forscher bestücken den Detektor des CRESST-Experiments im Gran-Sasso-Untergrundlabor.
© Astrid Eckert

Ein Bild von einem schwarzen Loch

Schwarze Löcher verschlucken alles Licht und sind daher unsichtbar. Ein Schwarzes Loch zu fotografieren, ist also eigentlich unmöglich. Und doch gelingt genau das 2017 in einer weltweiten Kooperation. Das erforderliche Teleskop muss rein rechnerisch eine Größe haben, die ungefähr dem Durchmesser der Erde entspricht. Also werden acht Radioteleskope mit Standorten auf der halben Erdkugel zu einem virtuellen Teleskop zusammengefasst – dem Event Horizon Telescope (EHT). Die Signale der einzelnen Antennen müssen dabei auf die Nanosekunde genau übereinstimmen. Die riesigen Mengen an Messdaten werden am Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn und am MIT in Boston ausgewertet. Schließlich kann 2019 dieses Foto präsentiert werden. Es zeigt das besonders massereiche Schwarze Loch im Zentrum der Riesengalaxie M87.

→ Die weltweit erste direkte Aufnahme eines schwarzen Lochs.
© EHT Cooperation

Virtuelles Weltall

Für die bisher größte und detailreichste Simulation der Vorgänge bei der Entstehung des Universums, IllustrisTNG, „füttern" Forscher*innen den Hochleistungsrechner Hazel Hen in Stuttgart mit Daten vom Anfangszustand des Kosmos. Der Supercomputer berechnet dann die Entwicklung des Alls über mehr als 13 Milliarden Jahre. Dafür braucht es 16.000 Prozessorkerne („cores"), die mehr als ein Jahr lang rund um die Uhr arbeiten – umgerechnet auf einen einzelnen modernen PC entspricht dies einer Rechenzeit von 15.000 Jahren. In bisher einmaliger Form und Genauigkeit zeigt die Simulation den Wissenschaftler*innen großräumige Zusammenhänge im Universum, aber auch Details wie Gasflüsse in Galaxien.

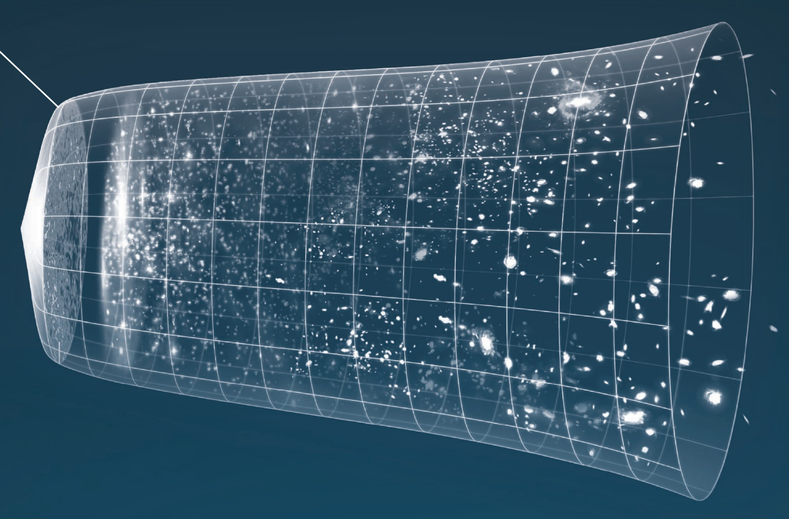
© IllustrisTNG Collaboration

GOETHE INSTITUT

Urknall

Eines der größten Rätsel der Wissenschaft ist die Frage nach dem Ursprung des Universums. Wir wissen heute, dass sich das Universum ausdehnt. Auch die Art und Weise kennen wir. Rückwärts betrachtet verdichten sich Materie und Energie unendlich. Und genau dort muss der Anfang unseres heutigen Universums liegen – rein rechnerisch vor 13,8 Milliarden Jahren. Doch dieser Urknall beschreibt keine Explosion in einem Raum. Nach der heute vorherrschenden Theorie ist er der Anfang von Raum, Zeit und Materie.

Aber wie soll die enorme Menge an Materie und Energie, die das Weltall enthält, in einem so winzigen Punkt zusammengepresst gewesen sein? Damit der Urknall – so wie er heute beschrieben wird – funktionieren kann, muss es ganz am Anfang eine sehr kurze, extrem schnelle Ausdehnung gegeben haben: die überlichtschnelle Inflation. Mit Messmethoden, die auf elektromagnetischer Strahlung beruhen, kann dieser Bereich nahe am Urknall nicht untersucht werden – mithilfe von Gravitationswellen schon.



Urknall oder Urprall?

Beim Urknall entstehen aus dem Nichts Raum, Zeit und Materie – so die gängige Theorie. Mit den heutigen Kenntnissen lassen sich alle Vorgänge ab etwa einer milliardstel Sekunde nach dem Urknall berechnen. Der sehr kurze, aber für das Verständnis extrem wichtige Bereich direkt nach dem „Knall" liegt noch im Dunkeln. Hier setzt die Forschung von Anna Ijjas an, einer jungen Wissenschaftlerin am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik. Das zyklische Modell, an dem sie arbeitet, geht davon aus, dass ein vorheriges Universum sich langsam auf etwa 10^{-25} cm zusammengezogen und dann wieder ausgedehnt hat. Der Urknall wäre demnach eher ein sanfter Urprall. Ein notwendiger Teil der Urknalltheorie, den die Wissenschaft bisher nicht erklären kann, ist die Inflation – die extrem schnelle Ausdehnung ganz kurz nach dem „Knall". Das Urprallmodell kommt ohne diese Vermutung aus.

→ Was war vor dem Urknall? Vielleicht ein früheres Universum?
© Anna Ijjas

Gravitationswellen

Albert Einstein hat wieder einmal recht: Am 14. September 2015 werden erstmals Gravitationswellen gemessen, 100 Jahre nachdem er sie in seiner Relativitätstheorie beschreibt. Aber was sind Gravitationswellen? Nach Einstein hinterlässt jede Masse Dellen in der vierdimensionalen Raumzeit. Bewegen sich diese Massen, entstehen Wellen. Diese Wellen breiten sich im All mit Lichtgeschwindigkeit aus und verzerren dabei den Raum.

Im All entstehen ständig Gravitationswellen. Sie können auf der Erde aber nur dann gemessen werden, wenn sehr große Massen sich sehr schnell bewegen – zum Beispiel beim Verschmelzen von zwei Schwarzen Löchern. Genau das wird im September 2015 gemessen. Dazu braucht man sehr empfindliche Messinstrumente: Die beiden riesigen Interferometer, die die Signale auffangen, stehen in den USA. Doch ein großer Teil der hochpräzisen Technik, die in diesen Messgeräten steckt, und auch viele der Auswertungsprogramme kommen aus Deutschland – vom Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam und Hannover.

Ein gigantisches Weltraumobservatorium

Die Europäische Weltraumorganisation ESA plant für das Jahr 2034 den Start einer außergewöhnlichen Mission: LISA (Laser Interferometer Space Antenna) soll vom Weltraum aus Gravitationswellen messen. Der Detektor besteht aus drei Satelliten, die der Erde im Abstand von mehreren Millionen Kilometern folgen. Dabei müssen sie ihre Position zur Erde wie auch zueinander stets millimetergenau beibehalten. Mit diesem großen, hochpräzisen Messinstrument können die winzigen Abstandsänderungen gemessen werden, die durch Gravitationswellen verursacht werden. Das Messprinzip ist dasselbe wie auf der Erde. Aber in diesen Dimensionen und im Vakuum, das im Weltraum herrscht, kann man auch sehr feine Gravitationswellen mit einer Frequenz von unter einem Hertz messen. Die entstehen zum Beispiel, wenn Galaxien zusammenstoßen. Detektoren auf der Erde können dagegen nur Signale mit Frequenzen im Bereich von einigen zehn Hertz bis zu mehreren Kilohertz registrieren.

→ Science-Fiction? Bald sollen die drei Detektoren des LISA-Interferometers der Erde folgen.
© University of Florida / S. Barke, bearbeitet

Das Rätsel der Radioblitze

Um uns herum zucken ständig Blitze am Himmel. Doch ohne Hilfsmittel sind sie nicht zu sehen, denn sie dauern nur wenige tausendstel Sekunden. Laura Spitler und ihr Team vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie entdecken 2014 den ersten dieser Fast Radio Bursts (FRBs) auf der Nordhalbkugel. Heute gehen die Forscher*innen davon aus, dass es rund 10.000 FRBs pro Tag gibt. Sie stammen aus den Tiefen des Universums, vielleicht von Neutronensternen, den Überbleibseln von gewaltigen Explosionen massereicher Sterne.

Beobachtet werden die superschnellen Blitze mit Radioteleskopen wie dem 100-m-Teleskop in Effelsberg in der Eifel, einem Mittelgebirge im Westen Deutschlands. Es ist eines der größten vollbeweglichen Radioteleskope und kann auf fast jeden Punkt des Himmels ausgerichtet werden. Seit fast 50 Jahren ist es eines der leistungsstärksten Teleskope der Welt.

→ Das Radioteleskop Effelsberg ist eines der größten vollbeweglichen Radioteleskope der Welt.
© Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn / Norbert Tacken

Galaxien

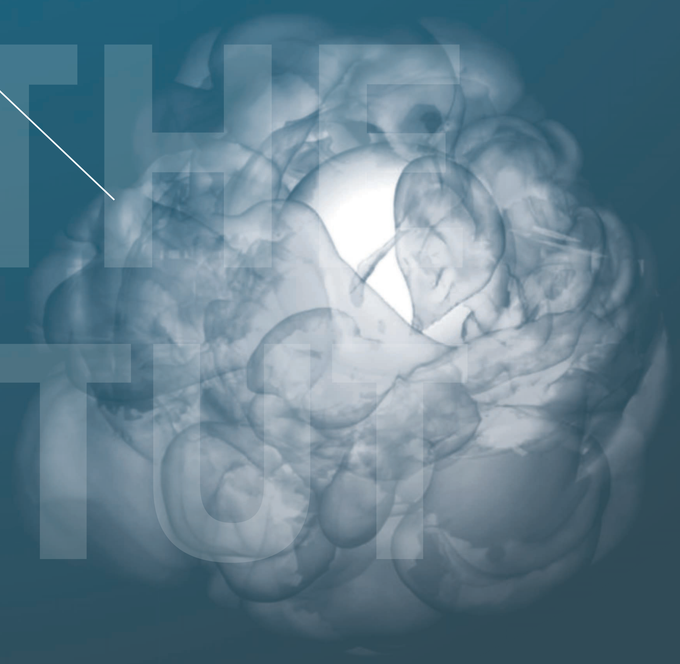
Galaxien sind „Welteninseln" im unendlichen Meer des Kosmos. Hier sammeln sich Sterne, Planetensysteme, Staubwolken, Gasnebel und Dunkle Materie. Zusammengehalten werden sie durch Gravitation. Galaxien haben unterschiedliche Strukturen – von einfachen Ellipsen bis hin zu hochkomplexen Spiralgalaxien mit definierten „Armen" wie unsere Milchstraße. Mehrere Galaxien finden sich schließlich zu Gruppen und Haufen unterschiedlicher Größe zusammen. Die größten dieser Galaxienhaufen enthalten mehrere tausend Galaxien.

Der Andromeda-Nebel ist die uns am nächsten gelegene Galaxie, die ungefähr so groß ist wie die Milchstraße. Er ist das am weitesten entfernte astronomische Objekt, das wir von der Erde aus mit bloßem Auge sehen können.

Supernova

Manche Sterne sterben einen spektakulären Tod: Die helle Explosion eines massereichen Sterns am Ende seiner Entwicklung wird Supernova genannt. Die Bezeichnung (nova = lateinisch neu) geht zurück auf Tycho Brahe. Der dänische Astronom beobachtet im Jahr 1572 das plötzliche Auftauchen eines sehr, sehr hellen Sterns, wo vorher absolut nichts zu sehen ist.

Bei einer Supernova-Explosion wird ein großer Teil des Sterns in Energie umgesetzt und auf einmal abgestrahlt. Übrig bleibt ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch. Besonders beeindruckend ist eine Supernova, wenn ein massereicher sogenannter Riesenstern, zum Beispiel ein Roter Riese, sein Brennmaterial verbraucht hat. Durch die eigene Schwerkraft fällt er in sich zusammen und setzt dabei ungeheure Mengen an Energie frei. Die Supernova kann dann für eine Weile heller strahlen als die gesamte Galaxie, in der sie sich befindet.



GOETHE INSTITUT