

Der Archäologe des Universums

Er liebt Basketball und Literatur, seine wahre Leidenschaft aber ist die Kosmologie. Mit Teleskopen und Computern erforscht **Joe Hennawi** am Heidelberger **Max-Planck-Institut für Astronomie** – in einer Gruppe namens Enigma – die größten Strukturen des Weltalls. Dabei geht es um nicht weniger als die Enthüllung des kosmischen Netzes.

TEXT **THOMAS BÜHRKE**

So manche Astrophysikerkarriere beginnt mit dem Kauf eines Fernrohrs in jugendlichen Jahren. Nachts bestaunt der angehende Forscher die Ringe des Saturn und die Berge auf dem Mond. Nicht so Joe Hennawi: Er kam eher über glückliche Zufälle zur Astrophysik, hätte ebenso gut Schriftsteller oder Basketballprofi werden können. Heute leitet er am Max-Planck-Institut für Astronomie eine Forschergruppe mit dem geheimnisvollen Namen Enigma, hat vor sechs Jahren mit dem Sofja Kovalevskaja-Preis der Alexander von Humboldt-Stiftung eine der höchstdotierten deutschen Wissenschaftsauszeichnungen erhalten und in jüngster Vergangenheit mit einigen Entdeckungen für Aufsehen gesorgt. Doch der Reihe nach.

Sein Büro in dem Institut auf dem Heidelberger Königstuhl verrät nichts Besonderes, sieht man einmal von den geschätzt hundert leeren Wasserfla-


schen ab, die vor dem Fenster im Sonnenlicht glitzern. Astrophysik macht wohl durstig. Joe Hennawi beschäftigt sich mit dem strukturellen Aufbau des Universums und hat es oft mit großen Datenmengen zu tun, deren Auswertung effiziente Computeralgorithmen erfordert. „Big Data ist in unserem Metier ein großes Thema geworden“, sagt er und ergänzt: „Ein Drittel meiner Zeit widme ich der Theorie, zwei Drittel der Beobachtung an möglichst großen Teleskopen.“

Der Name Enigma seiner etwa 15 junge Leute umfassenden Gruppe steht für Exploring the Nature of the Inter- and Circum-galactic Media. Auch wenn sich das Akronym nicht auf den ersten Blick erschließt, so ist doch die Forschungsrichtung klar: Es geht um Gas, das die Galaxien umgibt und sich zwischen den riesigen Sternsystemen verteilt. Das hat einerseits einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der Galaxien, zu denen auch unsere

Milchstraße gehört. Andererseits bildet das Gas zwischen den Sternsystemen ein gigantisches Netz, und dessen Struktur gibt Auskunft über die Entwicklung des Universums seit dem Urknall. Es sind die großen Fragen der Kosmologie, mit denen sich Hennawi beschäftigt. Dabei hat alles eher bescheiden und klein begonnen.

Seine Eltern sind aus Ägypten in die USA ausgewandert. Als Christen – ihr Name bedeutet „Familie des Johannes“ – hatten sie es in der Heimat nicht leicht. „Es gab aber auch wirtschaftliche Gründe für die Emigration“, sagt Hennawi, der im Jahr 1976 im kalifornischen Salinas nahe Monterey zur Welt kommt. Beide Eltern haben einen Wirtschaftsabschluss, später eröffnet der Vater einen eigenen Laden, in dem auch Joe viel Zeit verbringt.

Auf der Highschool bekommt der Junge gute Noten, für die Physikkurse interessiert er sich allerdings nicht. „Ich habe mich eher für Sport begeistert“, er-

A low-angle photograph of a man, Joe Hennawi, leaning on a glass railing. He is wearing a light grey suit jacket over a light purple shirt. He is smiling slightly and looking towards the camera. The background is a bright, modern interior with large glass panels and curved architectural elements. The railing is made of glass and a metal handrail.

„Kosmologie wird mein Gebiet
bleiben“, sagt Joe Hennawi,
Forschungsgruppenleiter am
Max-Planck-Institut für
Astronomie in Heidelberg.



» Immer wieder denkt er ans Aufhören, unternimmt eine Reise nach Ägypten, um seinen Wurzeln nachzuspüren. Aber letztlich beißt er sich durch und macht seinen Master.

innert er sich. Anschließend bewirbt er sich nicht an einer Universität, sondern geht in Salinas auf ein Junior College, das einen guten Ruf hat. Auch hier belegt Joe anfangs alle möglichen Kurse, spielt weiter mit Leidenschaft Basketball, erwägt sogar eine Profikarriere.

Die Wende bringt schließlich der Physiklehrer. „Der war super gut und hat mich begeistert, wir sind noch heute befreundet.“ Joe verabschiedet sich vom Traum eines Basketballstars und entschließt sich, Physik zu studieren. Und die Eltern? „Die fanden das nicht so gut, sie hätten lieber einen praktischen Beruf für mich gesehen, am liebsten als Ingenieur“, sagt Hennawi. Seine Schwester schlägt diesen Weg ein und arbeitet heute als Ingenieurin. Doch Joe bleibt bei seinem Entschluss.

Wegen seiner guten Noten bekommt er einen Studienplatz an der renommierten Stanford-Universität – eine riesige Chance für ihn. Allerdings gleich zu Be-

ginn Ernüchterung: „Ich hatte eine Grundvorlesung für Elektromagnetismus belegt, und am Ende der ersten Stunde war ich total frustriert: Ich dachte, ich kann gar nichts.“ Immer wieder denkt er ans Aufhören, unternimmt eine Reise nach Ägypten, um seinen Wurzeln nachzuspüren. Aber letztlich beißt er sich durch und macht seinen Master.

DAS ÄLTESTE ZEUGNIS AUS DER FRÜHZEIT DES WELTALLS

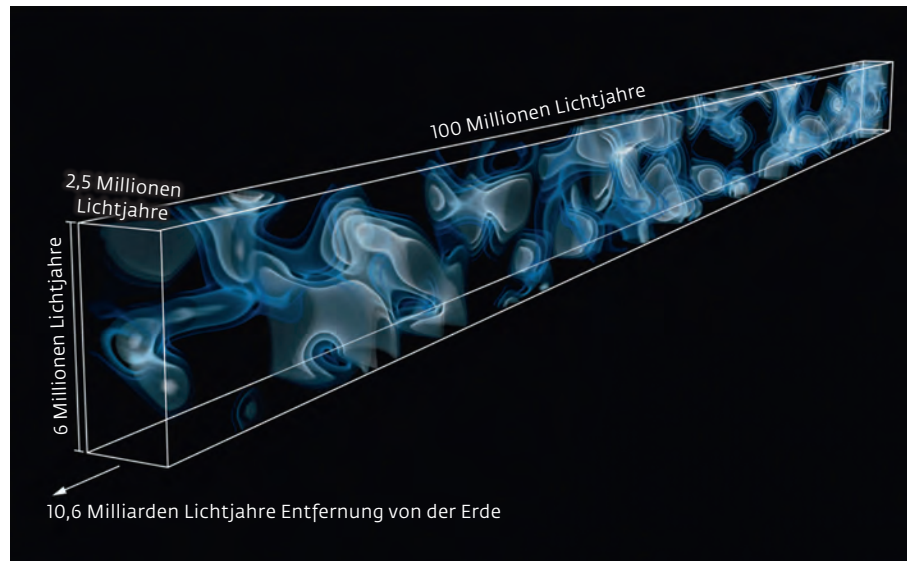
In Stanford lernt er auch Einsteins allgemeine Relativitätstheorie kennen, die für ihn im Folgenden immer wieder von besonderer Bedeutung sein wird. So arbeitet er kurzzeitig am Projekt Ligo mit – an jenem Detektor also, mit dem im September 2015 die spektakuläre Entdeckung einer Gravitationswelle gelang. „Vielleicht hätte ich besser dabei bleiben sollen“, sagt Joe Hennawi schmunzelnd.

Ausgestattet mit einem Stipendium wechselt er an die ebenso namhafte Universität von Princeton. Dort hat Albert Einstein bis zu seinem Lebensende gewirkt, dort arbeitet eine starke Kosmologiegruppe. Joe Hennawis Doktorvater David Spergel beschäftigt sich unter anderem mit Beobachtungsdaten eines Weltraumteleskops namens Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, mit dem die kosmische Hintergrundstrahlung untersucht worden war. Diese Strahlung gilt als das älteste Zeugnis des frühen Universums – und sie beinhaltet eine Fülle von Informationen über den Beginn der Welt: Kosmologie pur und an vorderster Front.

Joe Hennawi setzt sich mit der Theorie der Hintergrundstrahlung auseinander, wobei erneut der allgemeinen Relativitätstheorie eine recht bedeutende Rolle zukommt. Die Hintergrundstrahlung ist etwa 380 000 Jahre nach dem Urknall entstanden, und sie erfüllt

Linke Seite Das All im Computer: Joe Hennawi beschäftigt sich mit den großen Strukturen im Universum – auch am Laptop in einer ruhigen Ecke des Instituts.

Rechts Querschnitt durch die Vergangenheit: In den Spektren von 24 lichtschwachen Galaxien hat das Team um Joe Hennawi die Wasserstofflinien des kosmischen Netzes identifiziert und daraus eine dreidimensionale Karte rekonstruiert, die einen kleinen Teil des Weltalls im Alter von nur knapp drei Milliarden Jahren zeigt. Je heller der Farbton, desto höher die Dichte des Wasserstoffgases.



den gesamten Himmel. Sie ist also nahezu 14 Milliarden Jahre lang im Universum unterwegs, ehe sie in die Teleskope der Astronomen gelangt. Auf diesem langen Weg hat sie einiges erlebt. So durchquerte sie unter anderem Gaswolken, die sich entweder in den Galaxien oder zwischen ihnen befanden, und sie wurde durch die Schwerkraft von ihrer geraden Ausbreitungsrichtung abgelenkt.

Diese kosmische Hintergrundstrahlung kommt also auf der Erde geringfügig verzerrt an, so als würde man sie durch eine Milchglasscheibe betrachten. Das ist einerseits ärgerlich, weil dadurch auch die Informationen aus dem frühen Universum entstellt sind. Andererseits bietet sich so eine einzigartige Möglichkeit, etwas über die Galaxien und die zwischen ihnen befindliche intergalaktische Materie zu erfahren. Genau das wird Hennawis Forschungsgebiet.

Gegen Ende seiner Doktorandenzeit bekommt er erstmals die Gelegenheit, selbst astronomische Beobachtungen vorzunehmen. „Allerdings habe ich die nicht auf einem hohen Berg am Teleskop, sondern im Keller unseres Institutsgebäudes ausgeführt“, erinnert er

sich etwas wehmütig. Das Teleskop steht in New Mexico und lässt sich ferngesteuert bedienen. Das hat sich geändert, heute reist Joe Hennawi zu den größten Observatorien der Erde auf Hawaii und in Chile.

STRUDELNDES GAS ERHITZT SICH AUF MEHRERE MILLIONEN GRAD

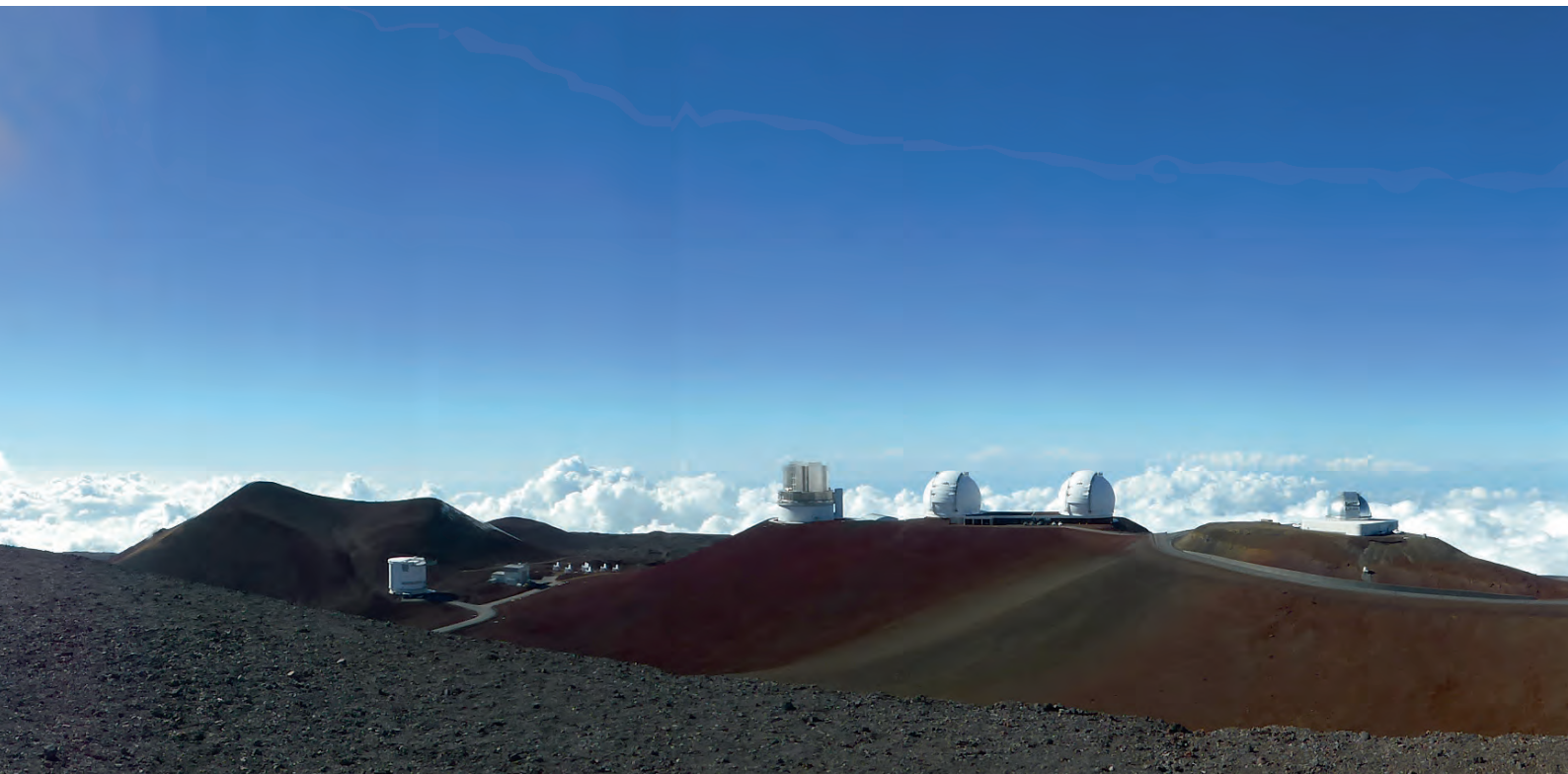
Obwohl das Teleskop in New Mexico nur Mittelklasse ist, stößt er dort auf Himmelskörper, die ihn bis heute beschäftigen: Quasare. Bei ihrer Entdeckung in den 1950er-Jahren nannte man sie quasistellare Objekte, weil sie wie Sterne punktförmig erscheinen. Allerdings wiesen viele andere Merkmale darauf hin, dass es sich nicht um Sterne handeln konnte. Im Jahr 1963 löste der Astronom Maarten Schmidt das Rätsel: Es handelte sich um die am weitesten entfernten und leuchtkräftigsten damals bekannten Himmelskörper.

Bald tauchte auch eine Theorie auf, wie die gigantischen Strahlungsquellen entstehen: Demnach ist ein Quasar das Zentrum einer jungen Galaxie, in der sich ein supermassereiches schwarzes Loch befindet. Aus der Um-

gebung zieht es Gas an, das sich zunächst in einer großen Scheibe um den Zentralkörper ansammelt und nach und nach in ihn hineinstürzt – ähnlich wie Wasser gurgelnd in einem Abfluss verschwindet. Bei diesem Vorgang erhitzt sich das Gas bis auf mehrere Millionen Grad und strahlt enorm hell: Ein Quasar sendet mehr als tausendmal mehr Licht aus als der gesamte Rest der Galaxie mit seinen bis zu Hunderten von Milliarden Sternen.

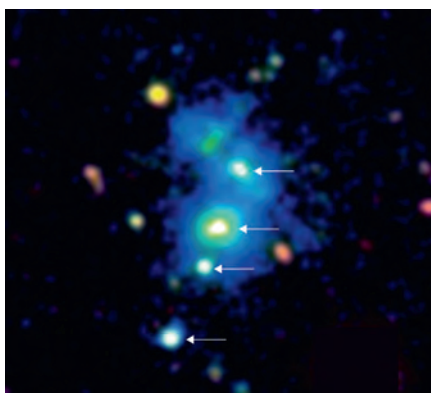
Diese Erklärung gilt heute als gesichert. Und da sich nach derzeitigem Wissen in nahezu jeder Galaxie ein zentrales, supermassereiches schwarzes Loch befindet, müsste eigentlich auch jede Galaxie gleichzeitig ein Quasar sein. Das ist aber bei Weitem nicht der Fall, im Gegenteil: Quasare sind eher selten. Der Grund: Die Quasaraktivität dauert nur rund zehn Millionen Jahre lang an. Gemessen an einem typischen Galaxienalter von mehr als zehn Milliarden Jahren ist das ein sehr kleiner Zeitraum. Es ist also ein unwahrscheinlicher Zufall, wenn Astronomen eine Galaxie gerade in ihrer Quasaphase sehen.

Mit Quasaren beschäftigt sich Joe Hennawi dann auch an der Universität



Oben Über den Wolken: Joe Hennawi arbeitet mit Daten der weltweit größten Fernrohre – wie sie etwa auf dem Mauna Kea auf Hawaii stehen. Im Innern der zwei weißen Kuppeln (im Bild auf dieser Seite) verbergen sich die beiden Keck-Teleskope mit Spiegeln von jeweils zehn Meter Durchmesser.

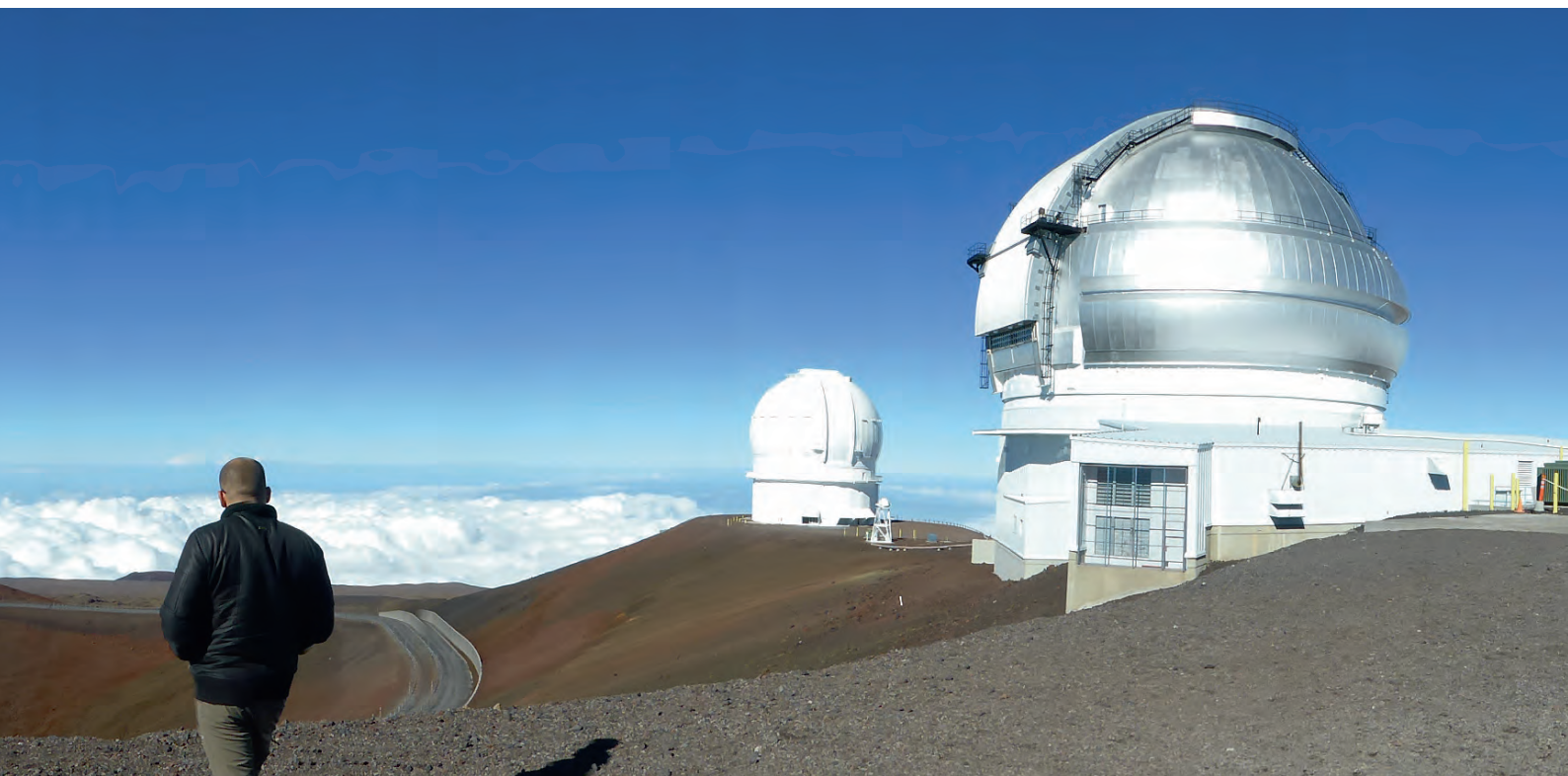
Unten Aufnahmen mit Seltenheitswert: Links ein Ausschnitt des kosmischen Netzwerks (türkisfarben) mit einer Ausdehnung von rund zwei Millionen Lichtjahren, das in der direkten Umgebung des Quasars UM 287 beobachtet wurde. Das Gas leuchtet dank desselben Effekts, dem auch Leuchtstoffröhren ihr Licht verdanken. Etwas kleiner, nämlich etwa eine Million Lichtjahre, ist der Nebel, in den die vier Quasare (Pfeile) auf dem rechten Foto eingebettet sind. Das Quartett ist eine Rarität, sein Licht benötigte zehn Milliarden Jahre, um zu uns zu gelangen.



von Berkeley in Kalifornien, wo er von 2004 bis 2009 als Hubble Fellow und dann als National Science Foundation Fellow unterstützt wird. „Dort habe ich gelernt, mit großen Datenmengen umzugehen“, erinnert sich der Forscher. Das ist in der heutigen Astrophysik so wichtig geworden, weil es viele Beobachtungsprojekte gibt, bei denen Teleskope Nacht für Nacht große Himmelsareale aufnehmen und dabei sehr viele, sehr lichtschwache Galaxien und andere Objekte aufspüren.

Eine solche Himmelsdurchmusterung, der Sloan Digital Sky Survey (SDSS), läuft seit dem Jahr 2000 im Apache Point Observatory in New Mexico. Mit einem eigens dafür gebauten Teleskop wurden auf einem Drittel der gesamten Himmelskugel Milliarden von Objekten durch mehrere Farbfilter abgebildet und mehr als drei Millionen Spektren aufgenommen. Das Ergebnis ist die bislang detaillierteste dreidimensionale Karte des Universums. Das Max-Planck-Institut für Astronomie ist seit Beginn des Projekts am SDSS beteiligt. Und auch Joe Hennawi nutzt diesen Datenschatz für seine Forschung.

Nach fünf Jahren in Berkeley wechselt er 2009 ans Heidelberger Max-Planck-Institut für Astronomie. Zu-



» Die kosmologischen Modelle sagen vorher, dass das Universum von einer blasenartigen Struktur durchzogen ist, ähnlich wie ein Schweizer Käse.

nächst ist ihm die Stadt noch zu klein, weswegen er im umtriebigeren Frankfurt wohnt und täglich pendelt. Sehr wichtig ist es ihm von Anfang an, die deutsche Sprache zu lernen. Er nimmt einen zweijährigen Sprachkurs wahr, den die Humboldt-Gesellschaft ihren Preisträgern anbietet. Schließlich liest Hennawi sogar anspruchsvolle Literatur, von Frisch über Hesse bis Kafka. „Grass ist mir aber auf Deutsch zu schwierig“, sagt er. Und: „Wenn ich kein Astrophysiker geworden wäre, dann hätte ich gerne den Weg eines Schriftstellers eingeschlagen.“

Schon ein Jahr nach seiner Ankunft am Max-Planck-Institut bekommt er den Sofja Kovalevskaja-Preis der Humboldt-Stiftung. Das damit verbundene Fördergeld von fast 1,5 Millionen Euro nutzt er, um seine Forschergruppe zu erweitern. Und die wissenschaftlichen Erfolge lassen auch nicht lange auf sich warten.

Vor knapp drei Jahren entdeckt sein Team zusammen mit Kollegen der Universität von Santa Cruz einen Quasar, der von einem ungewöhnlichen Nebel umgeben ist. Ungewöhnlich an ihm ist unter anderem die Ausdehnung von etwa zwei Millionen Lichtjahren. Damit kann es sich nicht um die Galaxie handeln, in deren Zentrum der Quasar sitzt. „Es ist uns damit gelungen, einen Teil des kosmischen Netzes aufzunehmen“, erklärt Joe Hennawi (MAXPLANCK-FORSCHUNG 1/2014, Seite 41).

Die kosmologischen Modelle sagen vorher, dass das Universum von einer blasenartigen Struktur durchzogen ist, ähnlich wie ein Schweizer Käse. In den Wänden befinden sich Wasserstoffgas und Dunkle Materie. Galaxien wie unsere Milchstraße und auch die Quasare sitzen vor allem in den Kreuzungspunkten und langen Filamenten dieses Netzes.

Allerdings ist das Gas selbst in den Knoten so dünn verteilt, dass es sich bisher nicht direkt abbilden ließ. In diesem Fall wirkt der Quasar wie ein Scheinwerfer, der das umliegende Gas zum Leuchten anregt und so einen Teil des Netzes sichtbar macht. Diese Entdeckung wählt die Redaktion der Zeitschrift PHYSICS WORLD, die vom britischen Institute of Physics herausgegeben wird, in die „Top Ten Breakthroughs“ des Jahres 2014.

DAS QUASARLICHT WAR ZEHN MILLIARDEN JAHRE UNTERWEGS

Im vergangenen Jahr landen Hennawi und Kollegen einen weiteren Coup: Sie stoßen auf ein Quasarquartett, das ebenfalls von einem Wasserstoffnebel umgeben ist (MAXPLANCKFORSCHUNG 2/2015, Seite 44). Um die Aufregung darüber zu verstehen, muss man sich



Forschung im Dialog: Mit seiner Kollegin Anna-Christina Eilers diskutiert Joe Hennawi die neuesten Ergebnisse. An seinem Fachgebiet fasziniert ihn, dass es sauber und klar durch die Formeln der allgemeinen Relativitätstheorie definiert ist.

klarmachen, dass heute zwar rund eine halbe Million Quasare bekannt, diese aber am Himmel weiträumig verteilt sind. Zwei Quasare in unmittelbarer Nachbarschaft zu finden, ist sehr selten. Derzeit sind nur hundert Quasarpaaire und ein einziges Quasartripel bekannt. „Die Wahrscheinlichkeit für eine zufällige Zusammenballung von vier Quasaren auf so engem Raum liegt bei eins zu zehn Millionen“, erklärt Hennawi, der das Quartett aus diesem Grund „Jackpot-Nebel“ nennt. Reiner Zufall ist diese Gruppierung aber wohl nicht, denn diese Raumregion enthält auch mehrere Hundert Mal so viele Galaxien, wie die Forscher erwarten.

Auch diese Entdeckung erfährt besondere Aufmerksamkeit: Das US-Magazin *ASTRONOMY* setzt es auf Rang vier der Top-Five-Entdeckungen – knapp hinter dem Vorbeiflug der Sonde *Horizon* am Zwergplaneten Pluto. Besonders spannend werden diese Beobachtungen, wenn man bedenkt, dass das Licht

dieser Quasare zehn Milliarden Jahre im All unterwegs war, bevor es uns erreichte. Die Forscher sehen hier also das Universum so, wie es vor mehr als zehn Milliarden Jahren aussah, weniger als vier Milliarden Jahre nach dem Urknall. Die Astrophysiker betreiben gewissermaßen kosmische Archäologie.

NORMALE GALAXIEN DIENEN FORSCHERN ALS SCHEINWERFER

Es gibt noch eine weitere Methode, um das über Milliarden von Lichtjahren hinweg verzweigte kosmische Gewebe zu ergründen. Sie ähnelt entfernt der Computertomografie, bei der das Innere des menschlichen Körpers aus unterschiedlichen Richtungen mit Röntgenstrahlen durchleuchtet wird.

Dabei machen es sich die Astronomen zunutze, dass das Licht zum Beispiel eines weit entfernten Quasars auf seinem Weg zu uns mehrmals die Wände und Filamente des kosmischen Net-

zes durchquert. Jedes Mal verschluckt dabei das Wasserstoffgas einen kleinen Teil des Lichts. Zerlegt man das Quasarlicht in seine spektralen Anteile, so taucht die Wasserstoffabsorption bei einer ganz speziellen Wellenlänge als dunkle Linie im Spektrum auf.

Die beständige Ausdehnung des Weltalls bewirkt nun, dass diese Wasserstofflinie zu immer größeren Wellenlängen verschoben wird, je weiter die Wolke von uns entfernt ist. Hat das Quasarlicht auf dem Weg zu uns zehn solche Wolken durchquert, so findet man auch zehn Absorptionslinien bei verschiedenen Wellenlängen; und aus deren Positionen im Spektrum kann man die Entfernung der Wolke ermitteln. Auf diese Weise ist es möglich, die räumliche Verteilung des kosmischen Netzes und die Gasdichte darin zu ergründen.

Da Quasare aber bis auf die wenigen Ausnahmen der Mehrfachsysteme weit über den Himmel verteilt sind, können

die Forscher das Netz nur punktuell untersuchen. Anders sähe es aus, wenn man als „kosmische Scheinwerfer“ nicht Quasare, sondern die viel häufigeren normalen Galaxien verwenden würde. Das erschien lange Zeit unmöglich, weil diese in großer Entfernung zu lichtschwach sind. Umso größer ist die Überraschung, als Hennawis Postdoc Khee-Gan Lee ein solches Projekt angeht – und Erfolg hat.

Mit einem Zehn-Meter-Spiegelteleskop namens Keck I auf Hawaii nimmt das Team Spektren von 24 lichtschwachen Galaxien auf und identifiziert darin die Wasserstofflinien des kosmischen Netzes. „Auf diese Weise haben wir erstmals eine dreidimensionale Karte von einem kleinen Teil des Universums rekonstruiert, die bis in eine Zeit zurückreicht, als das Weltall nicht einmal drei Milliarden Jahre alt war“, erklärt Joe Hennawi. Dieses Projekt wird fortgesetzt. Mittlerweile haben die Wissenschaftler die Methode bereits auf hundert Galaxien erweitert.

Wie geht es wohl weiter, nach so vielen Erfolgen? „Kosmologie wird mein Gebiet bleiben“, sagt Joe Hennawi. „Sie ist sauber und klar durch die Formeln der Relativitätstheorie definiert, birgt aber noch viele Rätsel.“ Dunkle Materie könnte ein solches Zukunftsthema sein: „Bislang hat man kaum deren

quantenmechanische Eigenschaften in Betracht gezogen“, meint der Heidelberger Max-Planck-Forscher. „Auch die Rolle der Neutrinos bei der Strukturbildung im Universum interessiert mich.“ Die ganz großen Fragen also. Für Basketball bleibt da natürlich nicht viel Zeit übrig. ◀

GLOSSAR

Kosmische Hintergrundstrahlung: Sie wird auch als „Drei-Kelvin-Strahlung“ bezeichnet und im Mikrowellenbereich beobachtet. Sie entstand etwa 380 000 Jahre nach dem Urknall, als das Universum durchsichtig wurde, sich Protonen und Elektronen verbanden und die Lichtteilchen (Photonen) von nun an ungehindert durch den Raum fliegen konnten. Die Hintergrundstrahlung trägt die Signatur aus der Epoche ihrer Entstehung in sich und ist daher ein wertvolles Instrument, um Struktur und physikalische Eigenschaften des ganz jungen Weltalls zu studieren.

Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: Der US-amerikanische Satellit, abgekürzt WMAP, wurde im Jahr 2001 gestartet und lieferte bis 2010 Daten. Seine Aufgabe war es, die Unregelmäßigkeiten in der kosmischen Hintergrundstrahlung zu kartieren. Aus den Messungen leiteten Forscher die Zusammensetzung des Universums ab: 4,6 Prozent konventionelle Materie, 23 Prozent Dunkle Materie und 72 Prozent Dunkle Energie. Diese Werte wurden von dem Nachfolgesatelliten Planck geringfügig korrigiert.

AcademiaNet

exzellente Wissenschaftlerinnen im Blick

Das Projekt

AcademiaNet ist eine Datenbank mit Profilen von über 2.100 exzellenter Forscherinnen aus allen Fachdisziplinen.

Unser Ziel

Frauen sind in wissenschaftlichen Führungspositionen unterrepräsentiert. Wir wollen Ihnen mit unserem Rechercheportal die Besetzung von Führungspositionen und Gremien mit Wissenschaftlerinnen erleichtern.

Die Partner

Robert Bosch **Stiftung**

nature **Spektrum**
der Wissenschaft

Sie wollen mehr erfahren?

www.academia-net.de

