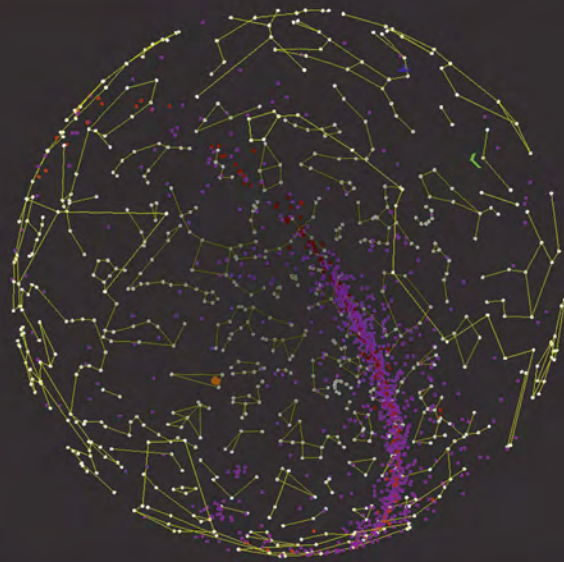


Einstein@Home
World Year of Physics 2005

14:26:38



User: Amber L. Skiver
Total credit: 272724
Host credit: 77895
Team: Einstein@Penn State

Search information:
RA: 353.80
Dec: -34.79
Percent done: 34.00%



Gravitationswellen aus dem Heimcomputer

Das Projekt Einstein@Home ermöglicht es jedermann, am eigenen PC, Laptop oder Smartphone nach Gravitationswellen zu suchen und damit selbst zum Entdecker zu werden.

Bruce Allen, Direktor am **Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik** in Hannover, hat dieses Citizen-Science-Projekt begründet. Mittlerweile spürt die Software in den Big Data außerdem Pulsare auf. An dieser Fahndung sind auch Forscher des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn beteiligt.

TEXT **THOMAS BÜHRKE**

Die Entdeckung einer Gravitationswelle am 14. September 2015 mit den LIGO-Detektoren in den USA gilt als wissenschaftliche Sensation. Eine der letzten Vorhersagen von Albert Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie war damit bestätigt. Maßgeblich an dem Fund beteiligt waren Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik in Golm und Hannover (MAXPLANCKFORSCHUNG 1/2016, Seite 78ff.).

Die erste nachgewiesene Gravitationswelle war unerwartet stark, ihr Signal selbst mit bloßem Auge in dem Datenstrom zu erkennen, den der in Hannover stehende Supercomputer Atlas unentwegt analysierte. Dort be-

merkte ein Forscher des Max-Planck-Instituts das Signal als Erster. Doch es ginge auch anders. Seit dem Beginn der LIGO-Messungen suchen die Wissenschaftler nach schwachen periodischen Gravitationswellen, wie sie vermutlich schnell rotierende Neutronensterne aussenden. Atlas ist hierfür der weltweit größte Cluster zur Datenanalyse, doch bei dieser Aufgabe stößt selbst er an seine Grenzen.

Dieses Problem war den Konstrukteuren der Gravitationswellendetektoren von Anfang an bewusst, und so kamen zwei von ihnen auf eine Idee. „Es war der 19. August 1999“, erinnert sich Bruce Allen noch ganz genau. Am California Institute of Technology (Caltech) traf er sich mit seinem Kollegen Stuart Anderson zum Essen. Allen hatte in der LOS ANGELES TIMES einen Artikel über das Projekt SETI@Home gelesen. Die Suche nach Signalen einer außerirdischen Intelligenz in den Daten großer Radiote-

leskope stellt die Forscher vor dieselben Probleme wie Allen und Kollegen: Wie kann man in dem riesigen Datenwust periodische Signale finden?

EIN NETZWERK MIT GIGANTISCHER RECHENKAPAZITÄT

SETI@Home basiert auf einer dezentralen Analyse der Daten, die paketweise auf Tausende von Privatrechnern verteilt werden. Und das geht so: Man meldet sich mit seinem heimischen PC an und erhält daraufhin eine Software, die immer dann die Daten durchforstet, wenn der Bildschirmschoner anspringt. Das Ergebnis wird automatisch zurückgeschickt. Auf diese Weise lässt sich die Suche nach Signalen auf ein Netzwerk mit einer enormen Rechenkapazität verteilen. SETI@Home stieß von Beginn an auf sehr großen Zuspruch. Allerdings: Die Fahndung nach Aliens blieb bisher vergeblich. >

Sinnvoller Bildschirmschoner: Das Programm Einstein@Home sucht in den Daten von Gravitationswellen-Detektoren, Gamma-satelliten und Radioteleskopen automatisch nach schnell rotierenden Neutronensternen.



Links Schüssel im Grünen: Das Radioteleskop Arecibo in Puerto Rico besitzt einen Durchmesser von 305 Metern und lauscht nach Signalen von Pulsaren. Einstein@Home kann sie aufspüren und verwandelt damit den heimischen PC, das Smartphone oder das Tablet in ein wertvolles Werkzeug für die Wissenschaft.

Rechte Seite Idee in der Kantine: Bruce Allen, Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover, diskutierte im Jahr 1999 beim Essen mit einem Kollegen über die Möglichkeit, Daten von Gravitationswellendetektoren durchforsten zu lassen. Daraus entstand schließlich Einstein@Home, an dem bisher mehrere Hunderttausend Menschen weltweit teilgenommen haben. Der Atlas-Cluster, neben dem Allen hier steht, spielt in dem Netzwerk eine zentrale Rolle.

„Ich diskutierte mit Stuart über die Möglichkeit, die Gravitationswellendaten der beiden LIGO-Instrumente auf dieselbe Weise durchsuchen zu lassen“, sagt Bruce Allen. „Aber dann dachten wir: Alle interessieren sich für Aliens, aber wen kümmern schon Gravitationswellen?“ Damit war die Idee gestorben; vorerst jedenfalls. Vier Jahre später kam der Stein dann doch ins Rollen. Allen erhielt den Anruf eines SETI@Home-Pioniers, der nach Aktionen für das anstehende internationale Einstein-Jahr 2005 suchte.

Sofort fiel Allen wieder das Gespräch in der Caltech-Kantine ein – und er sah plötzlich eine Chance für die damals diskutierte Idee. Umgehend stellte der Forscher bei der National Science Foundation einen Antrag auf finanzielle Förderung von zwei Millionen Dollar über drei Jahre, in den er die Universität Berkeley sowie das Max-Planck-Institut miteinbezog. Doch die vergleichsweise kleine Summe wurde nicht bewilligt. Mittlerweile war es Juni 2004, das Einstein-Jahr nicht mehr weit.

Kurzerhand beschloss Bruce Allen, zusammen mit seinen Mitarbeitern auf

eigene Faust die entsprechende Software zu entwickeln. Den letzten Schliff erhielt das Projekt durch David Anderson von der Universität Berkeley, der auch schon die Software für SETI@Home geschrieben hatte. „Wir übertrugen sie auf unser Projekt, was einen großen Fortschritt brachte“, sagt Allen. So gelang es den Wissenschaftlern, bis Februar 2005 eine erste Version fertigzustellen, die sie auf einer Pressekonferenz auf der Jahrestagung der American Association for the Advancement of Science vorführten.

Begeistert griffen damals die Medien das Projekt auf. Es bekam den Namen Einstein@Home und war maßgeschneidert für das Einstein-Jahr. Die Neuigkeit verbreitete sich schnell: Innerhalb weniger Tage hatten sich laut Allen um die 20000 Teilnehmer angemeldet. Dies wiederum rief auch die National Science Foundation auf den Plan, die nun ohne große Umschweife finanzielle Unterstützung zusagte.

Das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, an das Allen im Jahr 2007 als Direktor berufen wurde, war von Beginn an bei Einstein@Home dabei. Bis heute haben mehrere Hunderttausend

Menschen weltweit an dem Projekt teilgenommen, wobei immer wieder welche abspringen, sodass zu einem bestimmten Zeitpunkt stets um die 40000 Hobbyforscher – teils mit mehreren Geräten gleichzeitig – aktiv sind.

SIGNALE WERDEN IN KLEINE PAKETE ZERHACKT

Es gibt rund 100 andere Projekte, in denen Daten im verteilten Rechnen gesichtet werden. Die Spanne reicht von der Medikamentenentwicklung gegen Malaria und Molekularsimulationen von Proteinen bis hin zur Suche nach der größten bekannten Primzahl. Unter ihnen ist Einstein@Home eines der größten. Es erreicht heute eine gesamte Rechenleistung von 1,7 Petaflops pro Sekunde, also von 1,7 Billionen Rechenschritten. Damit gehört dieses Rechnernetz zu den 60 leistungsfähigsten Supercomputern weltweit.

„In dem Netzwerk nimmt unser Atlas-Cluster eine zentrale Rolle ein“, erklärt Bruce Allen. Er bereitet die von den LIGO-Detektoren kommenden Signale auf und zerhackt sie in kleine Pakete.



Die sind so gewählt, dass jeder teilnehmende Rechner pro Stunde nicht mehr als ein Megabyte an Daten bekommt. Für diese Verwaltungstätigkeit benötigt Atlas nur ein Prozent seiner Leistung. Die von den PCs und Laptops durchforsteten Daten werden an Atlas zurückgeschickt und für die Wissenschaftler, etwa in Form von Diagrammen, aufbereitet. Wurde eine verdächtige Stelle im Datenstrom gemeldet, nimmt sie Atlas detailliert unter die Lupe.

Trotz jahrelanger Anstrengungen ist die Suche nach Gravitationswellen erfolglos geblieben. Das ist zwar etwas frustrierend, aber findige Forscher können selbst aus diesem Nullsignal astrophysikalische Schlüsse ziehen. Und zwar hinsichtlich von Neutronensternen – rund 20 Kilometer große Überreste von explodierten Sonnen.

Diese Neutronensterne besitzen extreme Eigenschaften: So ist in ihnen die Materie so stark komprimiert, dass ein Teelöffel davon auf der Erde so viel wöge wie eine Million Fernverkehrszüge. Zudem rotieren sie sehr schnell um die eigene Achse. Das ist eine gute Voraussetzung zum Abstrahlen von Gra-

vitationswellen, wobei die Frequenz einer solchen Welle der Rotationsfrequenz des Körpers entspricht. Aber Neutronensterne senden diese Raumzeitwellen nur dann aus, wenn sie nicht perfekt symmetrisch sind.

Allerdings zählen Neutronensterne wohl zu den rundesten Körpern im Universum und sind damit schlechte Sender. Aus der Tatsache, dass bisher kein periodisches Signal von ihnen gefunden wurde, lässt sich etwas über ihre Symmetrie aussagen. Die auf der Erde empfangene Intensität einer Gravitationswelle sinkt mit der wachsenden Entfernung des Neutronensterns, außerdem sind die LIGO-Detektoren in dem Frequenzbereich von einigen Dutzend bis einigen Hundert Hertz am empfindlichsten. Deshalb lassen sich lediglich statistische Aussagen über die Form von Neutronensternen treffen.

Demnach gibt es im Umkreis von etwa 1000 Lichtjahren keinen Neutronenstern mit einer Umdrehungsfrequenz von 100 Hertz oder mehr, dessen Oberfläche um mehr als zehn Zentimeter von der Kugelform abweicht. Ein äußerst bemerkenswertes Ergebnis.

„Im Bereich der elektromagnetischen Wellen haben wir bis heute einige Tausend Neutronensterne nachgewiesen – von insgesamt vielleicht 100 Millionen, die in unserer Milchstraße existieren“, sagt Maria Alessandra Papa vom Max-Planck-Institut in Hannover. „Gravitationswellen-Astronomie bietet künftig eine ganz neue Möglichkeit, mehr Informationen über diese unsichtbare Population zu bekommen.“

RADIOBÜNDEL ÜBERSTREICHEN DIE ERDE WIE SCHEINWERFER

Diese Erkenntnisse sind für Astrophysiker wichtig. Dennoch lässt die Begeisterung selbst des größten Einstein@Home-Enthusiasten nach, wenn über Jahre hinweg kein Signal ins Netz geht. Das bereitete Bruce Allen Sorgen, weswegen er nach einem weiteren Anwendungsgebiet suchte. Das fand er, nachdem er Ende 2007 den Vortrag eines Radioastronomen über die Suche nach Pulsaren gehört hatte.

Hinter diesen Objekten verbergen sich Neutronensterne, die zwei gebündelte Radiostrahlen entlang der Magnet-

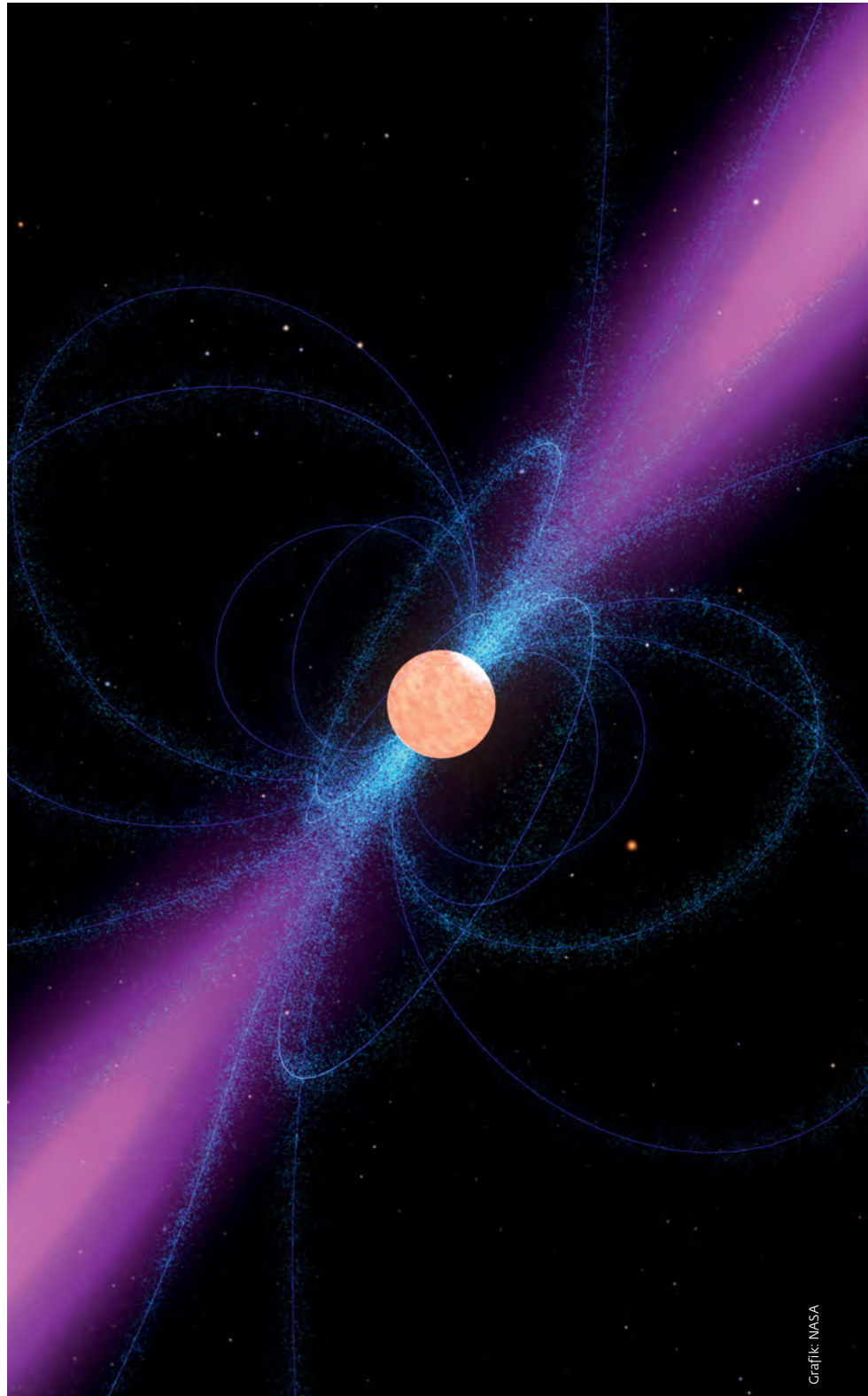
feldachse in entgegengesetzte Richtungen ins All aussenden. Sind Rotationsachse und Magnetfeldachse gegeneinander geneigt, dann streichen die beiden Radiobündel wie die Scheinwerfer eines Leuchtturms durchs All. Überqueren sie dabei zufällig die Erde, so empfangen die Teleskope ein periodisches Signal mit der Rotationsfrequenz des Pulsars.

Bruce Allen wurde sofort klar, dass sich Einstein@Home auf dieses Gebiet übertragen lassen sollte. Insbesondere für Doppelsysteme, in denen sich ein Neutronenstern und ein Begleiter umrunden, müsste Einstein@Home wesentlich zur Entdeckung solcher Systeme beitragen. „Die Radioastronomen können mit ihren Analysemethoden nur Paare finden, deren Umlaufperiode mehr als etwa eine Stunde dauert“, sagt Allen. „Wir müssten aber auch engere Paare bis herab zu einer Umlaufperiode von zehn Minuten aufspüren können.“

Die Analyse der Messdaten von Radioteleskopen hat zwar mit derjenigen von Gravitationswellendetektoren Ähnlichkeit, dennoch erforderte diese Erweiterung erheblichen Aufwand. Allens damaliger Doktorand Benjamin Knispel fand die Aufgabe spannend und setzte sich daran. Es wurde seine Doktorarbeit. „Die Software musste erheblich umgeschrieben werden“, erinnert sich Knispel. „Die Daten von Radioteleskopen unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von denen der LIGO-Detektoren.“

Die größte Herausforderung besteht darin, dass die Physiker nicht wissen, ob sich in dem jeweiligen Datensatz ein Pulsarsignal verbirgt. Und wenn ja, bei welcher Frequenz. Befindet sich ein Pulsar in einem Doppelsystem, tritt eine weitere Erschwernis auf: Bewegt er sich auf seiner Bahn auf uns zu, kommen die Pulse in kürzerer Folge an; läuft er von uns fort, wird die Pulsfolge langsamer. Die Pulsfrequenz ändert sich also periodisch mit der Umlaufdauer des Pulsars.

„Diese Blindsuche nach Signalen, deren Parameter überhaupt nicht bekannt sind, ist sehr aufwendig“, erklärt Knispel: „Wir wollen unsere begrenzte Rechenkapazität optimal nutzen, so als wollte man in einem Casino aus einem



Grafik: NASA

Linke Seite Kosmischer Leuchtturm: Das starke Magnetfeld eines Neutronensterns bündelt Strahlung an den Polen zu zwei Kegeln, die im günstigsten Fall die Erde überstreichen und sich als Pulsar zeigen – als Objekt, das rhythmisch blinkt.

Rechts Die Daten im Blick: Maria Alessandra Papa vom Hannoveraner Max-Planck-Institut koordiniert die Suche nach einem kontinuierlichen Signal von Gravitationswellen, wie es Neutronensterne erzeugen sollten. Die Forscherin hofft, im Erfolgsfall künftig mehr über eine große, bisher unsichtbare Population dieser Objekte zu erfahren.



bestimmten Einsatz den größten Gewinn rausholen.“ Einstein@Home eignet sich hervorragend für diese Blindsuche, weil es besonders effizient kleine Datenpakete mit großer Rechenpower analysiert. Wegen der vielen dezentralen Privatcomputer bekommt man sie fast zum Nulltarif.

ERFOLGREICHE SUCHE NACH UNBEKANNTEM PIEPSER

Seit März 2009 sucht Einstein@Home auch nach Radiopulsaren. Die Daten stammen aus dem Projekt PALFA (Pulsar Surveys with the Arecibo L-Feed Array), das an der 305-Meter-Antenne des Observatoriums von Arecibo läuft. Es dauerte nur etwa ein Jahr bis zur ersten Entdeckung. Die PCs von zwei Teilnehmern hatten in demselben Datensatz ein auffälliges Signal entdeckt. Eine Nachanalyse mit Atlas bestätigte den Fund. Jetzt wurden die Profis aktiv. Im Juli 2010 suchten Astronomen mit dem Radioteleskop in Green Bank (USA) nach dem bisher unbekanntem Piepser. Und sie

waren erfolgreich: Es handelte sich um einen Pulsar, der 41-mal pro Sekunde um seine Achse wirbelt.

Die Astronomen richteten weitere Radioteleskope auf den neu entdeckten Himmelskörper, auch die Effelsberger 100-Meter-Antenne des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie. Diese Nachbeobachtungen förderten zutage, dass der Pulsar ein etwa 17 000 Lichtjahre entfernter Einzelgänger ist, mit einem Magnetfeld, das rund 20 Milliarden Mal stärker ist als jenes der Erde.

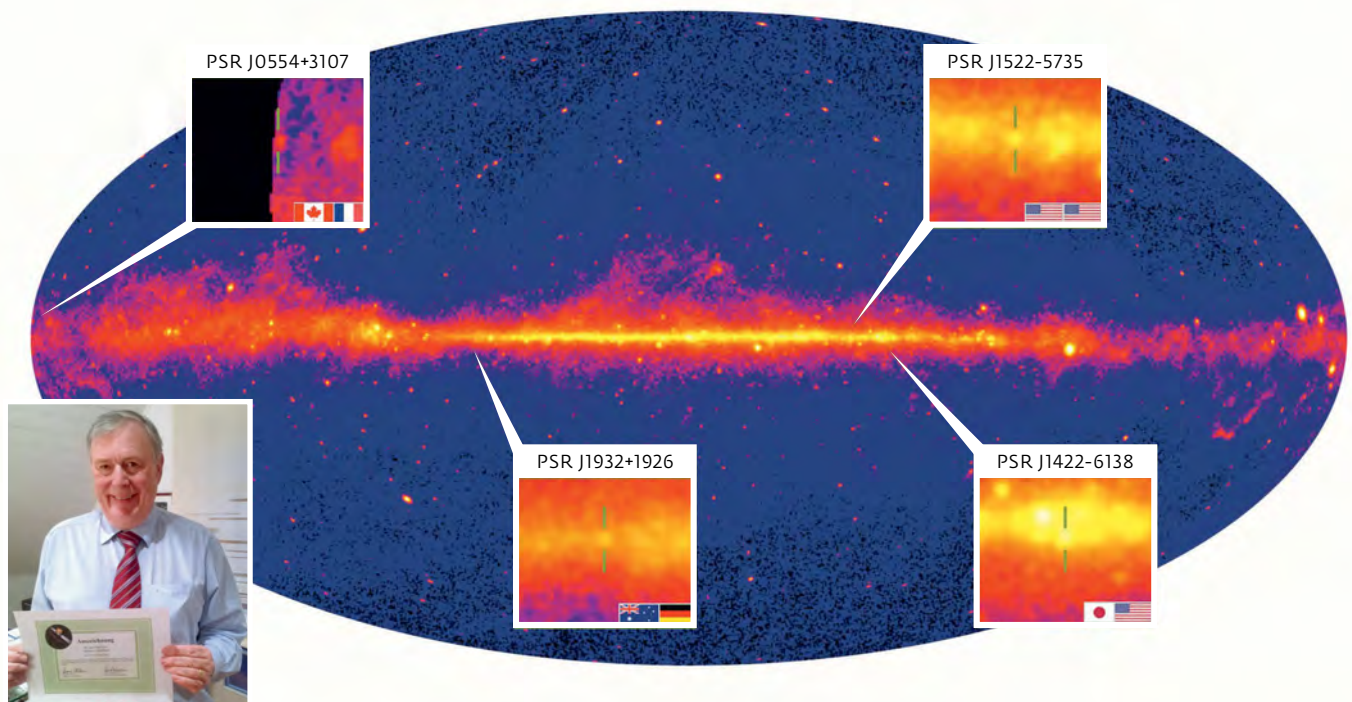
Bis heute hat Einstein@Home insgesamt 55 Radiopulsare entdeckt, darunter einige Raritäten, wie ein 25 000 Lichtjahre entferntes Objekt namens PSR J1913+1102. Das ist ein Paar, bestehend aus einem Pulsar und einem Neutronenstern; die beiden kreisen mit einer Periode von fünf Stunden umeinander. Der Neutronenstern lässt sich jedoch nicht als Pulsar nachweisen – vermutlich, weil sein Radiostrahl nicht über die Erde streicht.

„Mit insgesamt 2,88 Sonnenmassen haben wir einen neuen Rekord für die

Gesamtmasse eines Systems aus zwei Neutronensternen“, sagt Paulo Freire vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie, das intensiv an Einstein@Home beteiligt ist. Diese seltenen Doppelneutronensterne sind einzigartige Laboratorien, um die Relativitätstheorie in starker Gravitation zu überprüfen – eine Spezialität der Gruppe von Michael Kramer, Direktor am Institut.

Die meisten der bisher 2500 bekannten Radiopulsare am Himmel stehen isoliert und rotieren als Einzelsterne. Nur 255 von ihnen befinden sich in Doppelsystemen und davon nur eine Handvoll im Umlauf mit einem weiteren Neutronenstern. Hier hat Einstein@Home also einen Volltreffer gelandet.

Damit endet die Erfolgsgeschichte aber noch lange nicht. Seit August 2011 durchwühlen die Rechner von Einstein@Home auch Daten des Weltraumteleskops Fermi. Dieses empfängt kosmische Gammastrahlung, die wesentlich energiereicher ist als Radiostrahlung oder sichtbares Licht. Pulsare in diesem Licht nachzuweisen, gilt



Entdeckerfreuden: Der Hobbyastronom Hans Peter Tobler aus Rellingen gehört zu jenen Glücklichen, deren Rechner die Signale der ersten vier Gammapulsare aufspürten. Im Hintergrund ein Bild der Milchstraße mit den Positionen der Pulsare. Die Flaggen in den Vergrößerungen verweisen auf die Nationalitäten der an dem Fund beteiligten Einstein@Home-Nutzer.

als enorme Herausforderung, weil die empfangene Gammastrahlung extrem schwach ist: Im Schnitt weist Fermi von einem typischen Pulsar nämlich nur etwa zehn Gammaphotonen pro Tag nach! Es müssen deshalb die Daten von Jahren gesammelt werden, um ein pulserendes Signal aufzuspüren – und das ohne Vorkenntnisse von Pulsfrequenz und Phase, also der Positionen der Pulse im Datenstrom.

Gerade bei diesem diffizilen Analyseproblem zeigt Einstein@Home seine Stärke. Nochmals musste die Software umgeschrieben und effizienter werden. Der Aufwand wurde umgehend belohnt: Binnen eines Jahres spürten die Teilnehmer mehr als ein Dutzend Pulsare in den Fermi-Daten auf, seitdem sind weitere Entdeckungen ausschließlich mit Einstein@Home gelungen.

Jüngst veröffentlichten Astrophysiker einen Katalog mit 13 neu entdeckten Gammapulsaren. Mit einem einzelnen Heim-PC hätte die Suche mehr als 1000 Jahre gedauert. Einstein@Home schaffte es binnen eines Jahres,

obwohl nur ein Teil der Rechenleistung des Projekts dafür eingesetzt wurde. Insgesamt geht ein Drittel aller gefundenen Objekte auf das Konto der dezentralen Rechner.

HOBBYASTRONOMEN SPÜREN VIER GAMMAPULSARE AUF

Für die Forschung sind die neuen Daten von großer Bedeutung, denn auf welche Weise ein Pulsar seine Strahlung erzeugt, ist keineswegs geklärt. Gamma- und Radiostrahlung entstehen wahrscheinlich in unterschiedlichen Bereichen über der Oberfläche, weswegen erst Informationen über die verschiedenen Strahlungsarten ein Gesamtbild dieser faszinierenden Himmelskörper zeichnen können.

Die erfolgreichen Hobbyforscher von Einstein@Home werden per E-Mail informiert, erhalten eine Urkunde und werden in der wissenschaftlichen Veröffentlichung explizit gewürdigt. Einer von ihnen ist Hans Peter Tobler aus Rellingen, ein Urgestein gewissermaßen.

Er war schon bei SETI@Home dabei und meldete sich gleich in der Anfangsphase bei Einstein@Home an. Vor knapp vier Jahren erhielt er die Nachricht, dass er zu den Entdeckern der ersten vier Gammapulsare gehörte.

„Ich habe mich natürlich riesig gefreut und konnte es erst gar nicht glauben, als Bruce Allen mich damals kontaktierte“, erinnert er sich. „Die Urkunde, die etwas später kam, steht gerahmt auf meinem Schreibtisch“, so der ehemalige Wirtschaftswissenschaftler, dessen Herz schon seit den Kindertagen für die Astronomie schlägt.

Einstein@Home blickt auf eine beeindruckende Entdeckungsgeschichte zurück, auch wenn die eigentliche Intention – der Nachweis von Gravitationswellen – noch nicht gelungen ist. Und Allen schaut nicht ganz so optimistisch in die Zukunft. „In den vergangenen Jahren sind immer mehr Menschen von Laptop und PC auf Tablets und Smartphones umgestiegen, und diese Geräte werden auf eine möglichst lange Akkulaufzeit hin getrimmt.“

Sprich: Leerlaufzeiten mit Bildschirm-schoner gehören der Vergangenheit an. Doch die Max-Planck-Forscher haben sich etwas einfallen lassen.

Seit Juli 2013 bieten sie die Software für Android-Smartphones und Tablets an. Um die Batterielebensdauer zu erhalten, Ladezeiten zu minimieren und den Verbrauch von Download-Kontingenten zu vermeiden, rechnet die Software nur, wenn das Gerät mit einem WLAN-Netz verbunden ist, geladen wird und die Batterieladung bei mehr als 90 Prozent liegt. Derzeit sind rund 4000 aktive Teilnehmer angemeldet – das macht Mut. „Ich hoffe, dass wir in den Daten der technisch verbesserten LIGO-Detektoren auch endlich das erste Gravitationswellensignal aufspüren werden“, sagt Allen. Damit wären Laien erstmals an einer nobelpreiswürdigen Entdeckung beteiligt. ◀

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

- Seit 2005 arbeitet das Projekt für verteiltes Rechnen namens Einstein@Home. Mit ihm suchen mehrere Zehntausend Nutzer weltweit in den Daten der LIGO-Detektoren nach Signalen von Gravitationswellen.
- Eine Erweiterung der Software ermöglicht es seit 2009, in Radioteleskopdaten und seit 2011 auch in denen eines Gammastrahlen-Satelliten nach Pulsaren zu fahnden. Auf diese Weise wurden 55 Radio- und 19 Gammapulsare entdeckt.
- Seit 2013 ist die Suche auch mit Android-Smartphones und Tablets möglich.

GLOSSAR

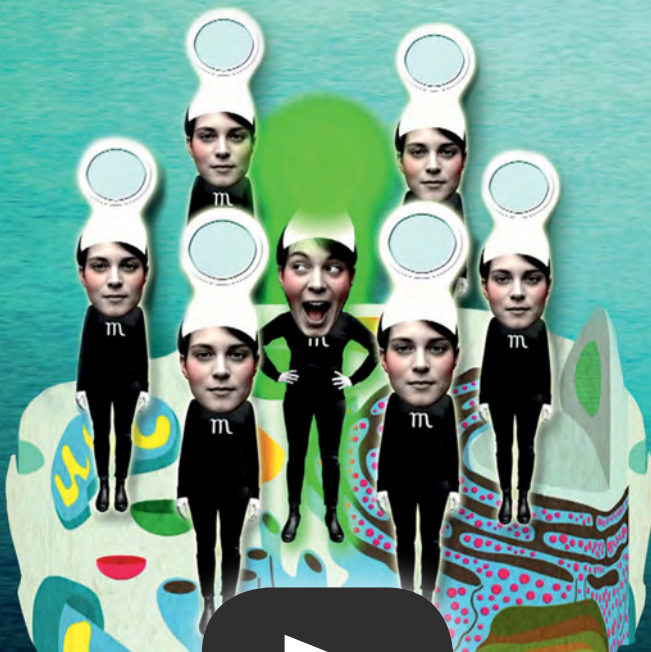
Gravitationswellen: Krümmungen der Raumzeit, erzeugt von beschleunigt bewegten Himmelskörpern. Die Wellen eilen mit Lichtgeschwindigkeit durchs All und wurden am 14. September 2015 nachgewiesen.

LIGO: Das Observatorium besteht aus zwei Detektoren mit jeweils vier Kilometer langen Laserarmen, die in Hanford (US-Bundesstaat Washington) und Livingston (Louisiana) stehen. Nach einer Aufrüstung wurde die Empfindlichkeit deutlich gesteigert, und die Anlage arbeitet seit 2015 unter der Bezeichnung Advanced LIGO.

Verteiltes Rechnen: Unter verteiltem Rechnen versteht man einen Zusammenschluss unabhängiger Computer, die sich als ein einziges System präsentieren und große Datenmengen analysieren. Bei Einstein@Home koordiniert der Supercomputer Atlas die unabhängigen Rechner.



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Forschung voll abgedreht

Als DVD oder auch auf www.max-wissen.de/videos