

Simulation der Kollision zweier schwarzer Löcher und ihrer Gravitationswellen

Kosmischer Lauschangriff

Astronomie Erstmals ist es Forschern gelungen, Gravitationswellen zu messen, winzigste Dellen in der Raumzeit, ausgelöst vom Crash zweier schwarzer Löcher. Das Spektakel erschütterte das Universum – und unser Verständnis vom All.

Hannover, 14. September 2015, ein regnerischer Montag. Ungarn macht die Grenze zu Serbien dicht, Novak Djoković gewinnt die US Open – und im Albert-Einstein-Institut in der Callinstraße sitzt Marco Drago vor dem Rechner. Der 33-jährige Physiker aus Padua in Italien, seit einem Jahr in Deutschland, hat sich vorgenommen, eine drängende Forschungsarbeit endlich zu Papier zu bringen. Und um 12.30 Uhr würde er, wie jeden Tag, mit den Kollegen seiner Arbeitsgruppe zum Mittagessen gehen.

Doch natürlich kommt alles anders.

Es ist kurz vor zwölf Uhr, da leuchtet auf Dragos Bildschirm eine E-Mail auf. Drago liest – und staunt. Kein Mensch hat sie geschrieben, sondern ein hochkomplexes Messinstrument in den USA namens Ligo (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), das die hannoverschen Max-Planck-Forscher mitkonstruiert haben. Der Inhalt dieser Mail verändert alles: Dragos Tagesprogramm, seine Karriere, vor allem aber unser Verständnis vom Universum.

Das Erste, was Drago denkt, ist: Messfehler! Die Daten in der E-Mail erscheinen einfach zu perfekt. Sie künden davon, wie weit, weit weg ein schwarzes Loch ein anderes frisst, und dieses kosmische Großereignis hinterlässt im Ligo-Detektor eine Datenspur, die „sogar mit dem bloßen Auge sichtbar ist“, erzählt Drago. „Wow“, sagt er zu sich, „das sieht wirklich echt aus.“

Er prüft, ob der Detektor richtig arbeitet. Über die vergangenen Jahre wurde er mit Millionenaufwand verbessert und feinjustiert. Gerade erst nahm er die Arbeit wieder auf. An diesem 14. September läuft er noch im Probetrieb, offiziell starten die Messungen erst vier Tage später. Wie kann das sein – ein Volltreffer noch vor Beginn?

Drago sucht Rat im Büro seines Kollegen Andy Lundgren, 37, aus den USA. Der glaubt zunächst: Hier legt uns doch wieder jemand rein. Das war tatsächlich schon einmal passiert, fünf Jahre zuvor. Damals waren die Messdaten Teil einer Übung für den Ernstfall, einem Feuersalarm gleich,

was die Forscher allerdings erst Monate später erfuhren.

Lundgren ruft in Amerika an, um nachzufragen, ob gerade jemand am Instrument herumfummelt. Doch dort ist es tief in der Nacht. In der Steuerzentrale des Detektors in Hanford, US-Bundesstaat Washington, hat der letzte nächtliche Arbeiter um kurz nach zwei Uhr das Licht ausgeschaltet. In Livingston, Louisiana ist es inzwischen kurz nach fünf.

Gegen 13 Uhr mitteleuropäischer Zeit schreibt Drago eine Mail an das gesamte



Signalentdecker Drago

„Wow, das sieht wirklich echt aus“

Ligo-Forschungskonsortium, mehr als tausend Wissenschaftler weltweit. Im Büro von Lundgren drängen sich unterdessen mehr und mehr Leute. Es folgen Konferenzschaltungen. Erst kurz vor Mitternacht verlässt Lundgren das Institut, aufgewühlt. Für Drago war es, so erzählt er heute, „mit Sicherheit der aufregendste Moment meiner Karriere“.

Jetzt, fünf Monate nach jener morgendlichen Sichtung, sind die Ligo-Forscher gleichzeitig in Washington, London, Paris, Moskau, Pisa und Hannover vor die Weltpresse getreten. Was sie am Donnerstag verkündet haben, ist eine Sensation, die ihnen vielleicht schon in diesem Jahr den Nobelpreis für Physik beschern wird.

Unabhängig voneinander, so berichteten die Forscher, hätten die zwei Detektoren in Hanford und in Livingston ein Signal aufgefangen, das nur von Gravitations-



FRANZ BISCHOF / DER SPIEGEL

Astrophysiker Danzmann*: „Zu schön, um wahr zu sein“

wellen herrühren könne. Eine halbe Sekunde dauerte der Spuk, doch das war genug, um die Welt der Astronomie für immer zu verändern. „Dies ist eines der großen Ereignisse in der Wissenschaft“, sagt Bruce Allen, Direktor am hannoverschen Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik. Vergleiche mit der Mondlandung, zu oft schon bemüht, scheinen diesmal keine Übertreibung zu sein.

Die Physiker versetzt das flüchtige Flackern ihres Detektors in solches Verzücken, weil sie es als Botschaft aus einer Welt lesen, die ihnen bisher verschlossen blieb. „Erstmals hat das Universum zu uns gesprochen“, jubelte Ligo-Direktor David Reitze bei der Pressekonferenz in Washington. Detailgenau erzählt die Nachricht aus dem All von einem Spektakel, das sich vor rund 1,3 Milliarden Jahren in einer fernen Galaxie am Sternenhimmel der südlichen Hemisphäre zugetragen haben muss.

Zwei schwarze Löcher, das eine schwerer wie 29 Sonnen, das andere noch um sieben Sonnenmassen schwerer, wirbelten dort auf immer engeren Bahnen umeinander. Bis auf wenige Hundert Kilometer hatten sich die beiden Schwergewichte einander angenähert, ihr Tempo erreichte schwindelnde 200 000 Kilometer pro Sekunde. Dann berührten sich die beiden Trümmer und verschlangen einander augenblicklich. Acht Tausendstel Sekunden lang wabbelte das neu entstandene Gebilde, dann hatte es seine endgültige Gestalt gefunden: Als 62 Sonnenmassen schweres schwarzes Loch zieht es seither seine Bahnen.

All das geschah im Bruchteil einer Sekunde, und doch reichte diese kurze Zeit aus, um drei Sonnenmassen in pure Ener-

gie zu verwandeln – das ist 50-mal so viel wie das Leuchten sämtlicher Sterne des sichtbaren Universums zusammengenommen.

Das Echo dieser ungeheuren Energie-Eruption haben die Ligo-Forscher nun aufgefangen. „Es tut sich für uns damit ein neues Fenster auf“, sagt der Gravitationsphysiker Karsten Danzmann von der Universität Hannover. Bisher, erklärt er, habe die Astronomie auf der Beobachtung von Licht und anderen Formen elektromagnetischer Strahlung beruht. „99 Prozent des Universums sind jedoch dunkel“, sagt Danzmann. Für herkömmliche Teleskope sei diese Schattenwelt unsichtbar.

Es ist, als öffnete sich ein neuer Sinneskanal, wie bei einem Tauben, der plötzlich hören kann.

Die wohl spektakulärsten Objekte der Dunkelwelt sind schwarze Löcher. Sie entstehen, wenn sich so viel Materie zusammenballt, dass sie unter ihrem eigenen Gewicht kollabiert. So schwer sind sie, dass selbst Licht ihnen nicht zu entkommen vermag – „schwarz“ bedeutet nichts anderes als „unsichtbar“. Doch im Gravitationsteleskop verraten sich die geheimnisvollen Materieschlucker.

Es ist, als öffnete sich damit für die Astrophysiker ein neuer Sinneskanal. Gern vergleichen es die Forscher mit einem Tau-

ben, der unvermittelt zu hören vermag: Eben noch schien die Welt in bleierne Stille getaucht – und plötzlich plätschern Bäche, trillern Vögel, rauscht der Wind.

Stolz verweisen die Max-Planck-Forscher in Hannover darauf, dass sie maßgeblich beteiligt waren an der großen Entdeckung. Deutschland, sagt Danzmann, sei so etwas wie die Heimat der Gravitationswellenforschung. Schließlich war es Albert Einstein, der vor 100 Jahren in Berlin erkannte, dass die Feldgleichungen seiner Allgemeinen Relativitätstheorie diese Wellen vorhersagen: Jede beschleunigte Masse schickt demnach, ähnlich wie ein Schiff im Wasser, eine Art Bugwelle aus, die sich als Delle im Raumzeitgefüge mit Lichtgeschwindigkeit durchs All bewegt. Die Erde etwa sendet, indem sie sich um die Sonne bewegt, unermüdlich Schwerkraftwellen aus. Auch einer Rakete eilt ein gravitatives Signal voraus. Selbst wer nur mit der Faust rüttelt, erschüttert damit das Universum.

Allerdings war sich Einstein sicher, dass es kaum möglich sein würde, diese Wellen nachzuweisen. Denn die Raumzeit ist extrem steif, sie zu verbiegen kostet enorm viel Energie. Selbst der Crash ganzer Sterne löst kaum mehr als ein Kräuseln von Raum und Zeit aus. Wenn dieses dann auch noch die Entfernung von vielen Millionen Lichtjahren durchläuft, erreicht es zwar den Planeten Erde, doch nur als geradezu lachhaft kleiner Effekt. Die jetzt nachgewiesene Welle etwa stauchte den Raum gerade einmal genug zusammen, um die Entfernung von Berlin nach Paris um den Durchmesser eines Atomkerns zu verkürzen. Kein Wunder, dass Einstein an einen Nachweis nicht glauben mochte.

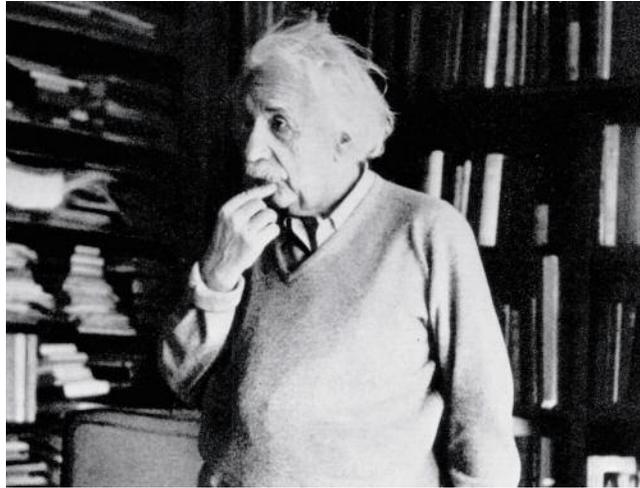
* Mit dem Modell eines Gravitationswellendetektors im Albert-Einstein-Institut in Hannover.

In den Siebzigerjahren brachte dann der Physiker Rainer Weiss vom Massachusetts Institute of Technology die visionäre Kraft auf, das messtechnische Abenteuer allen Bedenken zum Trotz anzupacken. Er ersann das Prinzip, auf dem die Detektoren von Gravitationswellen bis heute beruhen. Zwei Laserstrahlen, die durch zwei rechtwinklig angeordnete Instrumentenarme laufen, werden dabei miteinander abgeglichen (siehe Grafik unten).

In Deutschland war der Münchner Max-Planck-Forscher Heinz Billing der Erste, der sich daran machte, ein solches Gerät zu bauen. Heute lebt der Pionier 101-jährig, taub und fast blind in Garching bei München. „Ich bleibe am Leben, bis die ersten Schwerkraftwellen gemessen werden“, hat er einmal gesagt. Nun scheint es, als dürfte Billing in Frieden sterben.

Das erste Interferometer, das Billing vor rund 40 Jahren in München baute, hatte eine Armlänge von drei Metern. 1990 schien es dann zunächst, als wäre die Finanzierung für ein Großgerät mit gut tausendfach längeren Armen gesichert. Doch Billing und seinem Nachfolger Danzmann kam die deutsche Einheit dazwischen: Geld für neue wissenschaftliche Großprojekte war nicht mehr vorhanden. Den Zuschlag für die Ligo-Großdetektoren bekamen die Amerikaner. Tunnel für weitere Geräte wurden in Italien und Japan gebaut.

Deutschland musste sich mit der Rolle der Ideenschmiede begnügen. Danzmann und seine Kollegen buddelten zwei Gräben am Rande eines Ackers bei Hannover und richteten darin GEO600 ein, eine Art Mi-



Genie Einstein: Selbst wer mit der Faust rüttelt, erschüttert das All

naturausgabe des amerikanischen Großdetektors. Dort erprobten sie neue Mess- und Lasertechnik und tüftelten aus, wie sich die Empfindlichkeit des Instruments weiter steigern lässt.

Bedarf für messtechnische Finesse gab es zur Genüge. Denn die Feinabstimmung eines Gravitationswellendetektors ist ein heikles Geschäft: Unentwegt erschüttern winzige tektonische Beben das Terrain, zusätzlich hebt und senkt es sich im Takt der Gezeiten. Jeder Lieferwagen auf der Landstraße lässt das Gerät erzittern, selbst vorbeiziehende Wolken wirken mit ihrer Schwerkraft auf das Experiment ein.

Da war es wohl allzu optimistisch, dass die Forscher hofften, schon im Jahr 2002 die Seufzer schwarzer Löcher hören zu können. Damals nahmen sie Ligo erstmals in Betrieb. Neun Jahre lang gingen die Forscher auf Horchposten, insgesamt etwa ein Jahr davon lief das Gerät im Observationsmodus.

Die Ausbeute: nichts.

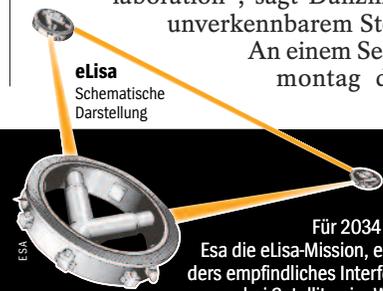
Einmal sah es so aus, als wäre ihnen ein markantes Ereignis im Sternbild Großer Hund ins Netz gegangen. Voller Eifer machten sich die Forscher daran, die Daten auszuwerten. Schon war der wissenschaftliche Artikel über die große Entdeckung verfasst, der Nobelpreis schien zum Greifen nah.

Doch dann stellte sich heraus, dass ein kleiner Trupp von Saboteuren das Signal heimlich in die Ligo-Computer eingespeist hatte. Die Kollegen waren von der Forschungsleitung ausdrücklich dazu autorisiert worden. Das ungewöhnliche Verfahren, eben der von Andy Lundgren auch dies-

mal wieder befürchtete Feueralarm, sollte sicherstellen, dass alle wissen, was zu tun ist, wenn in Zukunft tatsächlich die ersehnten Daten über die Bildschirme flackern sollten. Dass zum Beispiel keiner aus der Heerschar der beteiligten Forscher die Entdeckung voreilig in die Welt hinausposaunt.

Im Jahr 2011 setzten die Ligo-Physiker der frustrierenden Zeit vergeblichen Lauschens ein Ende. Sie entkernten die Experimentalaröhren und bauten ihre Geräte von Grund auf neu – diesmal mit einer um den Faktor zehn erhöhten Messgenauigkeit. Hierbei kamen ihnen die im niedersächsischen Rübenaeker geborenen Ideen sehr gelegen. „Die Laser, die Spiegelaufhängung und auch das optische Design stammen alle aus unserer GEO600-Kollaboration“, sagt Danzmann mit unverkennbarem Stolz.

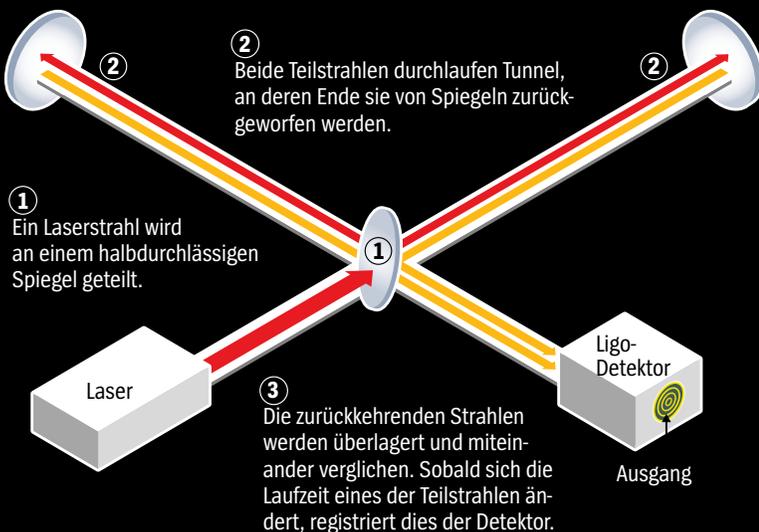
An einem Septembermontag des vori-



elisa
Schematische Darstellung

Für 2034 plant die Esa die elisa-Mission, ein besonders empfindliches Interferometer aus drei Satelliten im Weltraum.

Flüchtiges Flackern Laser-Interferometer zum Nachweis von Gravitationswellen



Messergebnis im Detektor

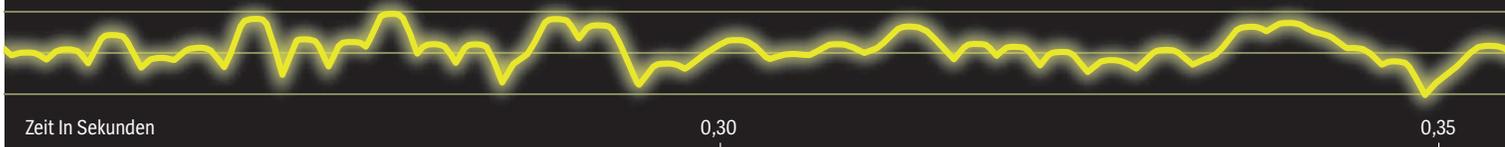


Im Normalbetrieb ist das Gerät so justiert, dass sich die beiden zurückkehrenden Lichtstrahlen exakt auslöschen. Der Ausgang ist dunkel.



Verändert eine Gravitationswelle die Laufzeit eines der beiden Teilstrahlen, so löschen sie sich nicht mehr vollständig aus. Am Ausgang entsteht ein Interferenzmuster.

DER SPIEGEL



gen Jahres war es dann so weit: Laser und Spiegel waren justiert, der Beginn des regulären Beobachtungsbetriebs stand kurz bevor, als es kam, das Signal, das Marco Drago in Hannover überraschte.

„Ein Blick darauf reicht aus, um zu erkennen, dass es die Signatur einer Kollision zweier schwarzer Löcher trägt“, erinnert sich heute Max-Planck-Forscher Allen. Und sein Kollege Danzmann sagt: „Es war zu schön, um wahr zu sein.“

Warum es so lange dauerte, den Sensationsfund der Weltöffentlichkeit zu verkünden? Allen und seine Kollegen wollten ganz sichergehen. Ein Desaster, wie es den Physikern des Südpolteleskops „Bicep2“ widerfahren war, wollten sie auf jeden Fall vermeiden: Die hatten vor knapp zwei Jahren verkündet, den Abdruck von Gravitationswellen in der kosmischen Hintergrundstrahlung entdeckt zu haben – und mussten wenig später eingestehen, dass sie vermutlich nichts als galaktische Staubschwaden gesehen hatten.

Umgehend beschlossen die Ligo-Forscher, alle Arbeiten an ihrem Experiment vorerst einzustellen. Alle Einstellungen wurden eingefroren, niemand durfte die Apparatur antasten. Erst wollten die Wissenschaftler unter unveränderten Bedin-

gungen weitermessen, um für die Datenauswertung eine ausreichend große Grundlage zu haben.

Dann folgte die lange Zeit der Datenanalyse, des Feilens an den Formulierungen im Fachartikel und des Wartens auf das Urteil der Gutachter. Derweil verbot ein hartes Embargo den Forschern zu berichten, was passiert war, selbst Familienmitgliedern durften sie nichts verraten. „Das war frustrierend“, sagt Marco Drago.

Bald wird es Forschern möglich sein, die Himmelsoper in ihrer ganzen Pracht zu bestaunen.

Doch selbst das rigorose Redeverbot konnte nicht verhindern, dass schon elf Tage nach der Sichtung die ersten Gerüchte auf Twitter auftauchten.

Die Ligo-Forscher ließen sich davon nicht beirren. Abrupt hatte der spektakuläre Fund die Stimmung unter ihnen umschlagen lassen. Nach den zermürbenden Jahren der vergeblichen Suche war nun aus der vagen Hoffnung unvermittelt handfeste Erwartung geworden. Denn wo es

ein Ereignis zu entdecken gab, da würde es auch andere geben.

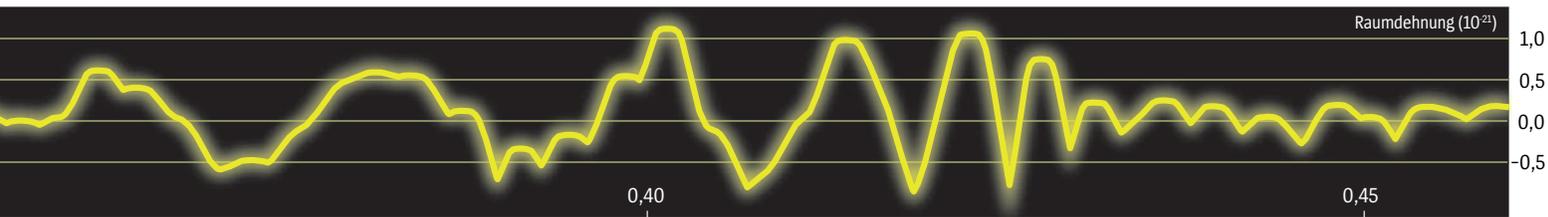
Im Januar hat Ligo die erste Messkampagne beendet. Ob ihnen diese nach dem ersten spektakulären Fund weitere Überraschungen beschert hat? Darüber schweigen die Physiker noch. „Wir werden darüber berichten, wenn wir die Analyse abgeschlossen haben“ – so lautet bei den meisten Ligo-Forschern die formelhafte Antwort. Auch Drago raunt nur: von der Erwartung „vieler solcher Ereignisse in der Zukunft“, die ein „neues Verständnis des Universums“ ermöglichten.

Über all das, was sie fortan zu sehen hoffen, plaudern die Astronomen gern. Zum einen sind da die Supernoven. Wenn das Leben eines Sterns in einer dieser gewaltigen Explosionen endet, dann entsteht nicht nur ein Lichtblitz, der eine ganze Galaxie überstrahlen kann. Der sterbende Stern strahlt auch einen ordentlichen Puls von Gravitationswellen aus. Gern würden die Schwerkraft-Kosmologen ihn genauer untersuchen.

Die Aussichten allerdings sind in diesem Fall eher mäßig. Vermutlich muss sich eine Supernova in unserer Galaxis ereignen, um mit Ligo nachweisbar zu sein. Langjährige Himmelsdurchmusterung aber



Ligo-Anlage in Livingston, Louisiana: Die im niedersächsischen Rübenacker geborenen Ideen kamen den Physikern sehr gelegen



lehrt: Das passiert nur rund zweimal pro Jahrhundert.

Mehr verspricht das Studium rotierender Neutronensterne. Falls diese hochkompakten Überbleibsel explodierter Sonnen auch nur wenige Millimeter hohe Unebenheiten auf ihrer Oberfläche haben sollten, würde dies ausreichen, ständig Schwerkraftwellen auszusenden.

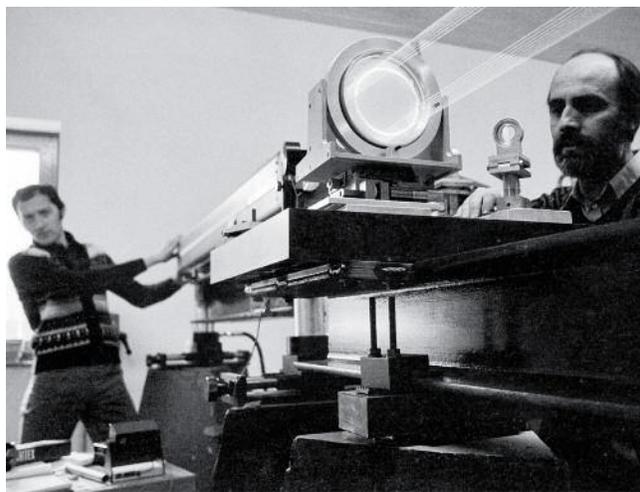
Ähnliches gilt für Paare von Neutronensternen, die mit hoher Geschwindigkeit umeinander herum wirbeln. „Wenn wir solche Objekte kennen, dann können wir den Ligo-Detektor gezielt auf sie ausrichten“, sagt Astrophysiker Danzmann. Zwar sei der Versuchsaufbau selbst unbeweglich, verändern könne man aber die digitalen Filter, die bei der Datenauswertung verwendet werden.

Die größte Magie unter den möglichen Quellen von Schwerkraftwellen strahlt aber jene Art von Ereignissen aus, deren Zeugen die Ligo-Forscher am 14. September wurden: die Kollision schwarzer Löcher. Von jeher nehmen diese unheimlichen Licht- und Materieschlucker unter allen Naturphänomenen eine Sonderrolle ein. Zum einen haftet ihnen etwas eigenartig Immaterielles an, fast scheint es, als wäre in ihnen pure Mathematik Wirklichkeit geworden. Zum anderen existieren sie in einer faszinierenden Grenzzone des physikalischen Wissens, dort nämlich, wo die beiden großen Theoriegebäude der modernen Physik, die Relativitätstheorie und die Quantenphysik, einander berühren.

Auch deshalb, meint Gravitationsforscher Allen, sei die jetzt verkündete Entdeckung so bedeutsam: „Eigentlich ist sie gleich zwei Nobelpreise wert“, sagt er. „Der eine für den Nachweis von Gravitationswellen und der andere dafür, dass wir erstmals die Kollision zweier schwarzer Löcher beobachtet haben.“

Es ist ein eigentümliches Konzert, das zwei dieser Kolosse geben, wenn sie einander umkreisen. Zunächst geben sie nur ein eintöniges und sehr tiefes Gravitationsbrummen von sich, das unmerklich höher und intensiver wird, während sich die beiden ganz langsam näherkommen.

Ins Hörfenster der beiden US-Detektoren verschiebt sich der Brummtton erst Sekundenbruchteile vor dem fulminanten Finale. 17-mal pro Sekunde kreiseln die beiden schwarzen Löcher zu diesem Zeitpunkt umeinander, und plötzlich geht alles



Frühes Laserinterferometer 1977: Selbst Wolken stören das Experiment

ganz schnell: Noch ein Dutzend Mal kreisen sie und wirbeln dabei immer wilder, der Brummtton schwillt in einem mächtigen Glissando an, um dann unvermittelt abzuebben.

Es ist erstaunlich, wie viel Information sich diesem kurzen Zirpen entlocken lässt. Der Zeitpunkt, an dem der Ton abbricht, verrät zum Beispiel, wie groß die beiden kollidierenden Objekte waren. Die Intensität des Signals wiederum lässt darauf schließen, in welcher Entfernung von der Erde sich der Crash zutrug. Im Fall des jetzt verkündeten Ereignisses sind diese Fakten allein schon eine physikalische Sensation: Bisher war nicht einmal bekannt, ob es schwarze Löcher mit 20, 30 oder gar 60 Sonnenmassen überhaupt gibt.

Schon bald, sagt Allen, gehe es weiter mit dem kosmischen Lauschangriff: Im September soll die nächste Messkampagne der Ligo-Detektoren starten, und dann erst werden sie ihre volle Empfindlichkeit erreicht haben. „Wir sollten dann alle vier oder fünf Tage, vielleicht sogar täglich solche Ereignisse sehen können“, meint Allen. Kollisionen bis fast an den Rand des sichtbaren Universums würden künftig ihre Spuren im Detektor hinterlassen.

Zudem wird bald auch das Schwestergerät Virgo im italienischen Cascina nahe der Stadt Pisa einsatzbereit sein. Wenn erst einmal drei Instrumente gleichzeitig das Firmament abhören, wird man jedes beobachtete Ereignis orten können. Sobald die Computer ein verdächtiges Signal auffangen, werden sie die Himmelskoordinaten automatisch an eines der großen optischen Teleskope senden. Diese können dann die entsprechende Region auf Auf-

fälligkeiten hin durchmustern. Erst wenn auf diese Weise Augen und Ohren der Astronomen direkt miteinander kommunizieren, wird es den Forschern möglich sein, die Himmelsoper in ihrer ganzen Pracht zu bestaunen.

Und es kommt noch besser: Für diesen Montag, nur vier Tage nachdem das Ligo-Team seinen großen Triumph verkündet hat, bereiten die Physiker bereits den nächsten Schritt ins Gravitationszeitalter vor. Dann wird eine Sonde namens „Lisa Pathfinder“ ihre Mission im Weltall aufnehmen. An einem Punkt, 1,5 Millionen Kilometer von der Erde entfernt, an dem sich die Schwerkraft von Sonne und Erde wechselseitig aufhebt, wird der Satellit zwei Testmassen aus Gold und Platin aussetzen, um dann mit Laserhilfe ihre Entfernung auf milliardstel Millimeter genau zu vermessen.

„Lisa Pathfinder“ soll beweisen, dass Messungen dieser Art im Weltall überhaupt möglich sind. Gravitationswellen kann das Gerät noch nicht registrieren. Dazu wird erst der Nachfolger, das eLisa-Interferometer, in der Lage sein. Funktionieren soll dieses Gerät, das die Astronomen im Orbit installieren wollen, ähnlich wie Ligo – nur dass die Armlänge nicht vier, sondern eine Million Kilometer betragen soll.

Wenn er von dieser Mission spricht, kommt Astrophysiker Danzmann ins Schwärmen. Das Gehör dieses Geräts werde so weit verfeinert sein, dass es nicht nur einzelne spektakuläre Kollisionen, sondern auch das allgegenwärtige Hintergrundrauschen am Gravitationshimmel aufzeichnen könne. „Ligo hört nur den Nacht-, Lisa dagegen den Taghimmel“, sagt Danzmann.

Ein wenig wird er sich allerdings gedulden müssen. Dem Esa-Plan gemäß ist der Start der eLisa-Mission für das Jahr 2034 geplant. Danzmann verdrießt das wenig. „Ich bin jetzt 61 Jahre alt, und ich habe vor, 120 zu werden“, sagt er. „Ich bin also voller Zuversicht, dass ich den Aufbruch ins nächste Kapitel der Gravitationswellenphysik noch erleben werde – wenn auch vielleicht nicht mehr am Steuer.“

Marco Evers, Johann Grolle



Video: Was sind Gravitationswellen?

spiegel.de/sp072016gravitation
oder in der App DER SPIEGEL