

„Beginn einer neuen Ära in der Astronomie“

Forscher beweisen die von Einstein vorhergesagten Gravitationswellen / Schwarze Löcher können direkt beobachtet werden

Von unserem Mitarbeiter
Till Mundzec

Washington/Hannover. Am 14. September 2015 erzitterte die Raumzeit: Zwei Schwarze Löcher in einer fernen Galaxie, rund 1,3 Milliarden Lichtjahre von der Erde, waren miteinander verschmolzen. Das kosmische Beben, das von diesem gewaltigen Ereignis ausgelöst wurde, passierte die Erde diesmal nicht unbemerkt wie sonst. In Nordamerika schlugen zwei gerade fertiggestellte Detektoren für sogenannte Gravitationswellen an – noch bevor ihre offizielle Beobachtungszeit überhaupt begonnen hatte. Damit lieferte das Ligo-Observatorium genau 100 Jahre nach der Vorhersage durch Albert Einstein den ersten direkten Nachweis von Gravita-

tionswellen. Die nobelpreisverdächtige Entdeckung schlägt ein neues Kapitel in Physik und Astronomie auf. „Es ist der Anfang dessen, was manche als Gravitationswellenastronomie bezeichnen“, erläutert einer der Gründungsväter des Laser-Interferometer-Gravitationswellen-Observatoriums (Ligo), Rainer Weiss vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston.

Supernova-Explosionen, kreisende Neutronensterne, verschmelzende Schwarze Löcher – vor allem solche massereichen Objekte lassen sich über Gravitationswellen beobachten. Denn die Wellen entstehen Einstein zufolge immer, wenn Massen beschleunigt werden. Mit Lichtgeschwindigkeit breiten sie sich aus und stauchen und strecken den Raum. Auch ein hüpfendes Kind auf ei-

nem Trampolin erzeugt Gravitationswellen. Jedoch sind die viel zu schwach, um mit heutiger Technik messbar zu sein.

Ligo lauscht mit Hilfe eines Lasersystems nach den Schwingungen aus dem All. Passiert eine Gravitationswelle das Observatorium, ändert sich die Länge zweier Röhren um winzige Beträge. „Die verschmelzenden Schwarzen Löcher haben die beiden Arme um maximal zwei Attometer gestaucht und gestreckt, das ist rund 1 000 Mal weniger als der Durchmesser des Wasserstoffatomkerns“, berichtet Bruce Allen, Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Potsdam und Hannover, wo dieses Signal zuerst bemerkt worden war. Dennoch erschien das Signal deutlich auf den Monitoren. Dabei sollte Ligo erst vier Tage später mit dem eigentlichen Beobachtungen beginnen.

So spektakulär der erste direkte Nachweis ist, gezweifelt hat kaum noch ein Forscher an der Existenz der Gravitationswellen. Für die Wissenschaftler sind daher die neuen Beobachtungsmöglichkeiten, die sich damit eröffnen, mindes-

Vier Fragen

Gravitationswellen

Thomas Schwetz-Mangold, KIT-Professor für theoretische Astro-Teilchenphysik, sagt, Gravitationswellen könnten Hinweise auf den Ursprung des Lebens geben.



„Einblick ins Universum“

Warum ist der Nachweis von Gravitationswellen eine wissenschaftliche Sensation?

Schwetz-Mangold: Dieses Phänomen wurde vor 100 Jahren von Albert Einstein vorhergesagt, bis jetzt gibt es aber nur indirekte Hinweise dafür. Nun hat man die Bestätigung für diese fundamentale Vorhersage der allgemeinen Relativitätstheorie, das ist sicherlich eine Sensation. Zumal man schon seit Jahrzehnten nach diesen Wellen sucht.

Was sind Gravitationswellen?

Schwetz-Mangold: Man kann sie sich vorstellen wie elektromagnetische Wellen, die wir zum Beispiel verwenden, um mit Handys zu telefonieren. Einstein hat vorausgesagt, dass es solche Wellen auch für die Gravitation geben muss. Er sagte, wenn man eine

große Masse schnell bewegt, entstehen Krümmungen der Raumzeit, die sich wellenartig mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.

Welche Erkenntnisse erhofft man sich von dieser Entdeckung?

Schwetz-Mangold: Es ist ein erster Schritt in der Erforschung der Gravitationswellen. Durch eine systematische Untersuchung von astronomischen Objekten, die Gravitationswellen aussenden, werden wir Einblick in die Expansion und die Zusammensetzung des Universums erhalten. Der nächste Schritt könnte sein, die Gravitationswellen aufzuspüren, die beim Urknall entstanden sind. Dies könnte völlig neue Informationen über die ersten Augenblicke nach dem Urknall geben.

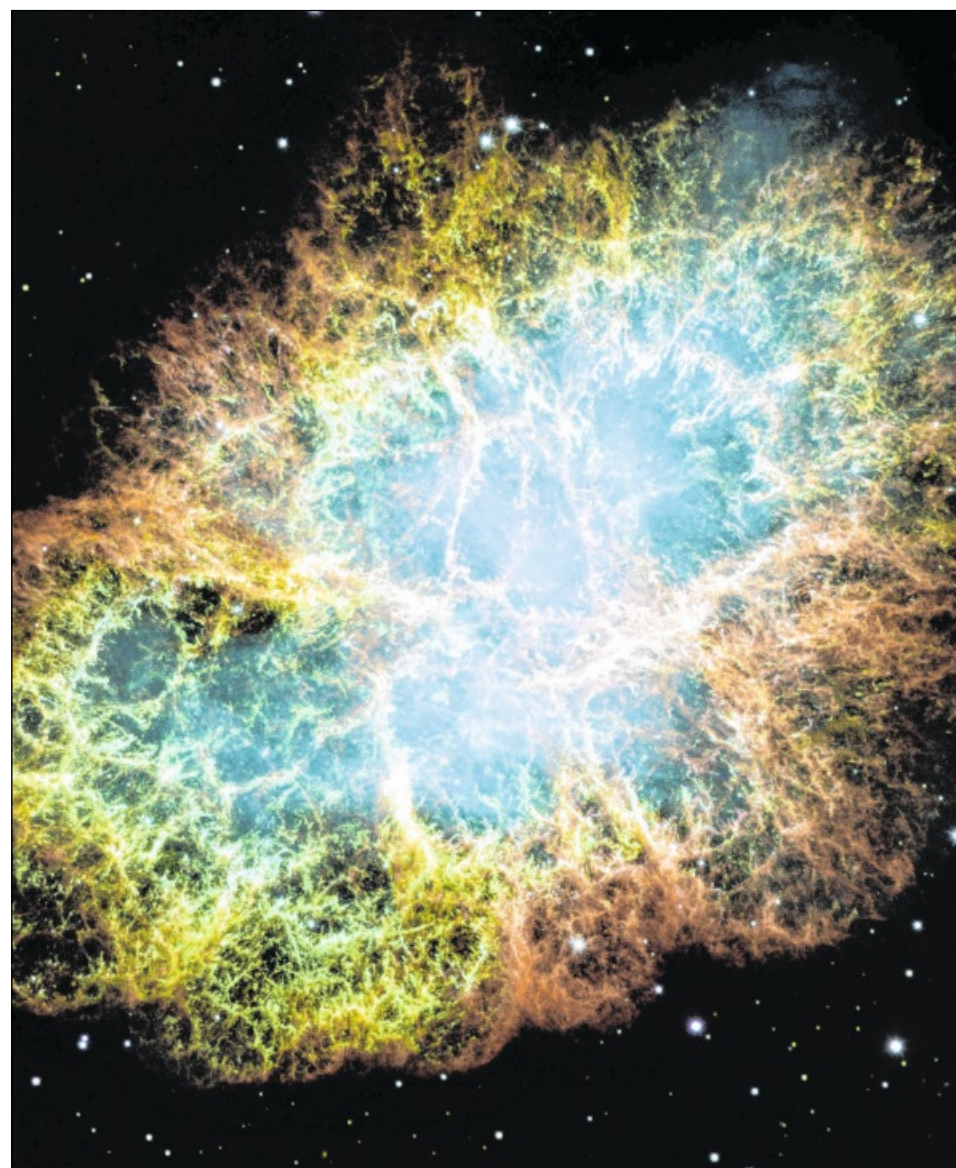
Was bedeutet das nun für den Normalbürger? Kann man mit Gravitationswellen künftig irgendwas verschicken? Oder gibt es bald einen Beamer?

Schwetz-Mangold: Da sind wir nun im Bereich der Science-Fiction und von einem Beamer sind wir noch genauso weit entfernt wie zuvor. Wir sprechen hier von einem Ereignis, das ausgelöst wird zum Beispiel durch zwei schwarze Löcher, die jeweils eine Masse haben von 30 bis 60 Mal der Sonne. Das zeigt die Dimension. Ganz konkrete Auswirkungen auf das Leben hier wird der Nachweis von Gravitationswellen nicht haben. Aber es ist durchaus eine enorme technologische Entwicklung, die hinter dieser Forschung steckt, und die vielleicht auch irgendwann eine Anwendung findet.

„Zwei Entdeckungen auf einen Streich!“

tens ebenso aufregend. „Wir haben nicht nur die Existenz von Gravitationswellen bewiesen, sondern auch von Doppelsystemen aus zwei Schwarzen Löchern. Zwei Entdeckungen auf einen Streich!“, betont Allen. „Solche Doppel-Schwarze-Löcher lassen sich nicht auf anderem Weg als mit Gravitationswellen nachweisen, denn sie senden kein Licht oder andere elektromagnetische Strahlung aus“, ergänzt Buonanno.

Das verschmelzende Doppelsystem vom 14. September haben die Forscher bemerkenswert genau analysieren können. „Die beiden Schwarzen Löcher hatten 29 beziehungsweise 36 Mal die Masse unserer Sonne. Das verschmolzene Schwarze Loch hat aber nur 62 Mal die Masse unserer Sonne“, berichtet Allen. Nach Einsteins Masse-Energie-Äquivalenz $E=mc^2$ wurden demnach drei Sonnenmassen in Form von Gravitationswellenenergie ins All abgestrahlt – und das in weniger als einer Viertelsekunde. Über derartige Objekte möchten die Gravitationswellen-Forscher künftig mehr herausfinden. „Nichts lenkt Gravitationswellen ab. Das heißt, wir können damit tief ins Innerste kosmischer Objekte blicken“, erläutert Weiss. „Eine der aufregendsten Beobachtungen wäre eine Supernova. Mit Hilfe von Gravitationswellen könnten wir sehen, was wirklich im Herz so einer Sternexplosion vorgeht.“ „Das ist mit Sicherheit der Beginn einer neuen Ära in der Astronomie“, sagt Allen über den Erfolg.



FARBENSPIEL IM WELTALL: Dieses Bild zeigt eine Supernova-Explosionswolke, aufgenommen vom Hubble-Weltraumteleskop. Foto: Nasa/dpa

Stichwort

Ligo

Ligo ist ein Laser-Interferometer-Gravitationswellen-Observatorium, das in den USA für den Nachweis von Gravitationswellen gebaut worden ist. Der Detektor besteht aus zwei rechtwinklig zueinander angeordneten Armen, die jeweils vier Kilometer lang am Boden verlaufen und schnurgerade sind. Im Inneren laufen Laserstrahlen, mit denen sich eine Änderung der Armlängen zueinander extrem genau messen lässt. Treffen Gravitationswellen diese Anlage, stauchen und strecken sie die Arme unter-

schiedlich um winzige Beträge. Das Lasersystem soll dabei noch Längenänderungen erfassen, die rund zehntausend Mal kleiner sind als ein Wasserstoffatomkern.

Das Ligo-Konsortium betreibt zwei nahezu identische Detektoren in Hanford (US-Staat Washington) und 3 000 Kilometer davon entfernt in Livingston (Louisiana). Erstmals ging das Observatorium 2002 auf Suche, zunächst erfolglos. Von 2010 an wurden die Detektoren dann aufgerüstet, unter anderem mit Technik, die im Rahmen des deutschen Experiments GEO600 bei Hannover entwickelt worden ist. Seit September 2015 hat dieses „advanced Ligo“ (weiterentwickeltes Ligo) eine deutlich verbesserte Empfindlichkeit. Till Mundzec