DFG Sonderforschungsbereich/Transregio: „Gravitationswellen-Astronomie", Garching | Hannover | Jena | Potsdam | Tübingen

Woher kommen Gravitationswellen?

Gravitationswellen erzeugen – eine Aufgabe für Schwergewichte.

Jede beschleunigte Bewegung von Materie oder Energie erzeugt Gravitationswellen. Meist sind diese jedoch sehr schwach. Nur, wenn sehr große Objekte sich sehr schnell bewegen, entstehen Gravitationswellen, die stark genug sind, um gemessen zu werden.

Mit irdischen Größenordnungen kommt man da nicht weit: Ein 100 Meter langer Stahlträger mit einem Gewicht von 1.000 Tonnen, der dreimal pro Sekunde um seinen Mittelpunkt rotiert, erzeugt zwar Gravitationswellen.

Diese sind aber so schwach, dass nicht einmal der Hauch einer Chance besteht, sie jemals nachweisen zu können.

Als Ausweg für dieses Problem bieten sich astronomische Objekte geradezu an: Supernova-Explosionen, Binärsysteme aus kompakten Objekten wie Weißen Zwergen, Neutronensternen oder Schwarzen Löchern, das Verschmelzen solcher Binärsysteme, oder gar die Kollision von supermassiven Schwarzen Löchern in den Zentren von Galaxien, die ihrerseits auf Kollisionskurs sind. Auch der Urknall hat gewaltige Gravitationswellen in die Welt gesetzt, die bis heute durch das Universum wandern, ähnlich wie die Mikrowellen-Hintergrundstrahlung.

Was ist ein Neutronenstern, wie entsteht er?

Hat ein Stern, der mehr als ungefähr achtmal so schwer ist wie unsere Sonne, seinen Kernbrennstoff verbraucht, dann kollabiert er unter dem Einfluss seiner eigenen Gravitation. Gleichzeitig wird der äußere Teil des Sterns explosionsartig abgestoßen, was als Supernova beobachtet werden kann.

Aus dem inneren Teil des Sterns kann ein Neutronenstern entstehen: Die Elektronenhüllen der Atome werden zerstört, Elektronen und Atomkerne vereinigen sich zu einem extrem dichten Neutronenball: mit einer Masse, die höher ist als die der Sonne, aber einem Durchmesser von nur noch ungefähr 20 Kilometern!

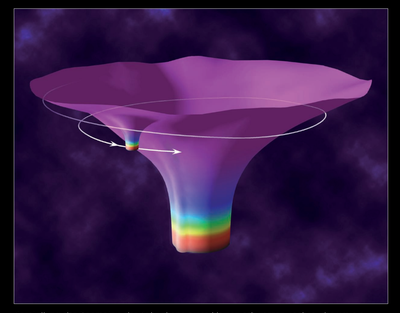
Wenn es kein Halten mehr gibt – Kollaps zum Schwarzen Loch

Ist der Stern anfangs allerdings mehr als ca. zwanzigmal so schwer wie die Sonne, dann kann nichts den völligen Kollaps aufhalten: Der Stern stürzt immer weiter in sich zusammen und wird zu einem schwarzen Loch.

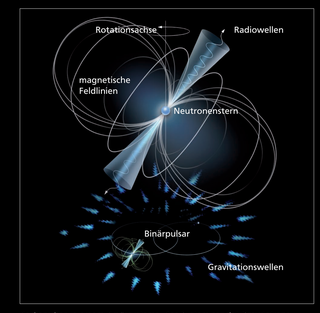
Gravitationswellen: Der „Knall" einer Supernova-Explosion

Supernova-Explosionen bewegen große Massen mit hoher Geschwindigkeit, sie sind daher gute Kandidaten für die Erzeugung starker Gravitationswellen. Sie erreichen uns auch dann, wenn die Supernova optisch nicht sichtbar ist, weil sie von anderen Objekten verdeckt wird.

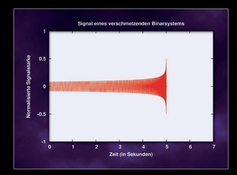
Leider sind Supernovae recht seltene Ereignisse: Man schätzt, dass im Schnitt ungefähr alle 50 Jahre eine solche in unserer Milchstraße stattfindet.

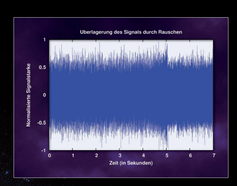


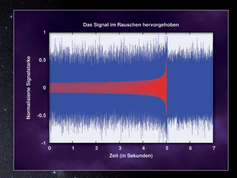
Darstellung der Geometrie der Bahnebene eines kleinen schwarzen Loches, das um ein großes schwarzes Loch läuft. Dabei wird Gravitationsstrahlung erzeugt. (Bild: LISA/SRL Caltech)



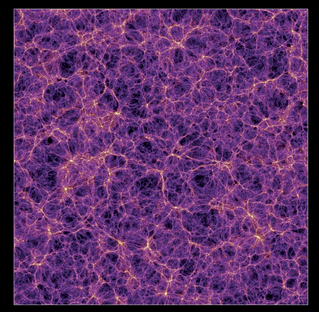
Radiopulsar in einem Binärsystems. Das System sendet Gravitationswellen aus, die dank der Radiopulse indirekt messbar sind.







Links: Die Messung von Gravitationswellen ist äußerst schwierig, die Signale werden stark vom Rauschen der Detektoren überlagert. Hier ist gezeigt, wie das Signal der Endphase eines verschmelzenden Binärsystems durch das Rauschen des Detektors GEO600 verdeckt wird. Bei der Datenauswertung muss es gelingen, anhand von Daten wie im zweiten Bild zu erkennen, dass sich darin ein Signal wie im ersten Bild versteckt.



Ausschnitt aus einer Simulation, wie sich nach dem Urknall im Universum aus den zunächst ungeordnet herumfliegenden Gasmassen Strukturen herausgebildet haben. Der Urknall selbst und die folgenden Ereignisse haben Gravitationswellen erzeugt, die als Gravitationshintergrundstrahlung bis heute durch das Universum wandern und möglicherweise gemessen werden können. (Bild: Springel et al. (2005)/MPA)

Gelegentlich kollidieren zwei Galaxien, wie hier auf dem Bild der Antennengalaxie zu sehen ist – ein Vorgang, der sich über Hunderte von Millionen Jahren hinzieht. Im Zentrum vermutlich jeder Galaxie steht ein extrem massives schwarzes Loch, das bis zu einigen Milliarden Sonnenmassen schwer sein kann. Die beiden schwarzen Löcher in den Zentren der kollidierenden Galaxien können sich erst zu einem Binärsystem vereinigen und schließlich miteinander verschmelzen. Dieser Vorgang erzeugt starke Gravitationswellen. (Bild: NASA, ESA, STScI)

Design: www.gd90.de