GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
GEFÖRDERT DURCH DIE Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

100 Jahre Allgemeine Relativitätstheorie

Einstein inside

Pulsierende Signale aus dem All

Was wird erforscht mit dem Radioteleskop in Effelsberg?

Die Allgemeine Relativitätstheorie (ART) beschreibt, wie Massen Raum und Zeit krümmen und wie diese Krümmung ihrerseits die Bewegung von Massen bestimmt. Die daraus resultierenden Vorhersagen kann man am besten mit sehr massiven Körpern testen, weil diese die Raumzeit stark krümmen und weil man deren Bewegung außerdem sehr genau vermessen kann. Solche Objekte gibt es, mit unseren Radioteleskopen können wir sie finden, ihre Signale aufnehmen und analysieren: Pulsare!

Pulsare sind „Neutronensterne“, ultradichte Körper, die vornehmlich aus Neutronen bestehen und eine Masse von bis zum 2-fachen der Sonne auf einen Durchmesser von nur 20 Kilometer konzentrieren. Sie rotieren und senden entlang der Magnetpole einen Radiostrahl aus. Ein Pulsar erscheint deshalb wie ein Leuchtturm, der einmal pro Rotation zu sehen ist. Die Drehbewegung ist so stabil, dass die Pulse eine zeitliche Genauigkeit erreichen, die mit Atomuhren konkurrieren kann.

Von der Eifel aus verfolgen wir, welche von ihnen um einen Begleiter kreisen. Wir können dann deren Bewegung im gemeinsamen Schwerefeld analysieren – teilweise so gut, dass wir die Pulsar-Position im Orbit bis auf 30 Meter genau bestimmen können.

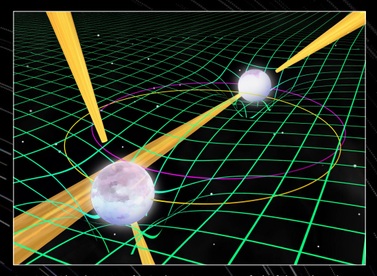
Durch diese Beobachtungen sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist die Bewegung des Pulsars so, wie sie die ART vorhergesagt hat?
- Sehen wir relativistische Effekte, die vielleicht noch niemand entdeckt hat?
- Sehen wir die Auswirkung von Gravitationswellen?

Besitzt der Pulsar einen Weißen Zwerg als Begleiter, nehmen wir manchmal optische Teleskope wie ESO’s „VLT“ zur Hilfe. Effelsberg beobachtet den Pulsar, das „VLT“ verfolgt den Weißen Zwerg. So können wir nicht nur die ART testen, wir finden auch wertvolle Hinweise auf die Eigenschaften von Neutronensternen.

Ein überraschendes Ergebnis: Mit mindestens 2 Sonnenmassen können sie massiver sein als erwartet. Das verrät viel über die Eigenschaften extrem dichter Materie.

Mit Hilfe des „Large European Array for Pulsars“ (LEAP) als Teil des „European Pulsar Timing Arrays“ wurde aus Pulsar-Beobachtungen ein Gravitationswellen-Detektor von galaktischen Ausmaßen „konstruiert“. Dieser sollte in der Lage sein, bei ausreichender Beobachtungszeit die Signale von supermassereichen Schwarzen Löchern zu messen, die sich in Doppelsystemen im Zentrum von entfernten Galaxien befinden. (Grafik: GD90/Fotolia et al)



Das Max-Planck-Institut für Radioastronomie ist federführend an den bisher besten Nachweisen der ART beteiligt. Eines der Experimente erweist sich als besonders erfolgreich – die Vermessung eines „Doppel-Pulsars“: ein System mit zwei Pulsaren, das durch das Aussenden von Gravitationswellen Energie verliert und schrumpft. Die Bahnperiode nimmt jeden Tag um 108 Nanosekunden ab und beide Pulsare nähern sich im gleichen Zeitraum um 7 Millimeter!

Dies wird – in 85 Millionen Jahren – zu einer gewaltigen Explosion führen, welche Advanced LIGO nicht nur in diesem Fall, sondern bereits jetzt in anderen Teilen des Universums aufspüren könnte und kann . (Rendering: Michael Kramer, Bonn)

Können wir nun sicher sein, dass Einsteins bisher so verlässlich funktionierende Theorie nicht doch nur eine Näherung darstellt? Vergleichbar mit Newtons Gesetzen, die auch jahrhundertelang als korrekt galten? Wo könnte die ART versagen?

Ein Bereich liegt nahe: die Umgebung von Schwarzen Löchern! Hier interessiert uns ganz besonders das Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße. Mit vier Millionen Sonnenmassen ist es riesig. Wenn wir Pulsare finden, die sehr nahe darum kreisen, so können wir die Eigenschaften des Schwarzen Lochs vermessen und mit einem Radiobild vom „Schatten“ des Schwarzen Lochs vergleichen. Gelänge dieser „Schnappschuss des Jahrhunderts“, könnten Pulsar-Messungen und Schattenbild – im Abgleich mit Resultaten von LIGO – die Richtigkeit der ART wohl endgültig beweisen!

Das 4 Mio. sonnenmassen-schwere Schwarze Loch „Sgr_A“ im Zentrum unserer Milchstraße. Das kleine Motiv zeigt eine Simulation des Schattens des Schwarzen Lochs, den Radioastronomen momentan zu vermessen. (Bild: NASA/Hubble; Simulation: Heino Falcke)

Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR), Bonn

Als Institut der Max-Planck-Gesellschaft betreibt das Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) in Bonn die Erforschung des Universums mittels Radiowellen sowie die Entwicklung technischer Geräte für diese Beobachtungen. Hier steht insbesondere das 100-m-Radioteleskop in Effelsberg im Mittelpunkt. Das Institut konzentriert sich auf drei Forschungsfelder:

Radioastronomische Fundamentalphysik: *Untersuchungen von der Zustandsgleichung ultra-dichter Materie bis hin zu fundamentalen Kräften wie Magnetismus und Gravitation. Dazu werden insbesondere schnell rotierende Neutronensterne studiert, die als Radiopulsare sichtbar sind. Deren Beobachtung erlaubt einzigartige Tests der Allgemeinen Relativitätstheorie und alternativer Gravitationstheorien.*

Millimeter- und Submillimeter-Astronomie: *Kosmische Hintergrundstrahlung, Molekülwolken in der Milchstraße und in anderen Galaxien, Entstehung von Sternen, Radioemission von Sternen und Molekülstrahlung von Hüllen um Sterne, späte Stadien der Sternentwicklung sowie das Galaktische Zentrum.*

Radioastronomie/VLBI: *Untersuchung extragalaktischer Objekte einschließlich ihrer Kerne und Jets supermassereicher Schwarzer Löcher in extrem hoher Winkelauflösung. Die zugrunde liegende Messmethode (Very Long Baseline Interferometrie, VLBI) vernetzt Radioteleskope in Europe, der Welt und sogar im Weltraum.*

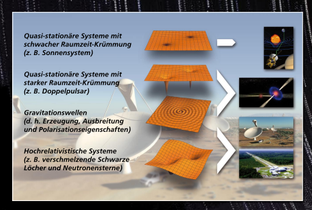
Mehr Infos unter:
www.mpifr-bonn.mpg.de
Prof. Dr. Michael Kramer (Geschäftsführender Direktor, Abteilung Radioastronomische Fundamentalphysik)

Foto: SinnesB, MPIfR

Trotz seiner 100 Meter Durchmesser, was der Größe eines Fußballfelds entspricht, kann der Astronom vom Kontrollraum das 3.200 Tonnen schwere Teleskop auf einen drittel Millimeter genau auf Pulsare ausrichten und deren Pulse aufzeichnen. (Foto: Norbert Tacken)

Bild rechts: Verschiedene Aspekte der Einsteinschen Gravitation und ihre Zuordnung zu Experimenten.

Pulsare liefern derzeit – bis zu einer direkten Detektion mit Pulsar-Timing-Arrays oder Gravitationswellendetektoren – den eindeutig besten Beweis für die Existenz von Gravitationswellen. (Grafik: Norbert Wex, GD90, NASA et al)



Rund 45 km südlich von Bonn, nahe dem kleinen Dorf Effelsberg in der Eifel, betreibt das Max-Planck-Institut für Radioastronomie ein gigantisches Radioteleskop. (Foto: Norbert Tacken)

Design: www.gd90.de