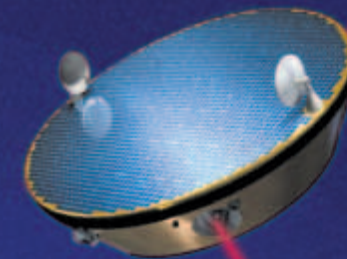




MAX-PLANCK-GESellschaft



Die Gravitationswellenastronomie öffnet ein völlig neues Fenster ins All

Der größte Teil unseres Universums ist „dunkel“. Wir können über 99% des Universums nicht mit optischen Teleskopen, Radio- oder Röntgenstrahlenteleskopen oder anderen herkömmlichen astronomischen Beobachtungsmethoden „sehen“. Schwarze Löcher und Dunkle Energie emittieren kein Licht oder andere elektromagnetische Strahlung. Wir wissen nur aufgrund der Gravitationswirkung und indirekten Erscheinungen, dass es sie überhaupt gibt...

Jetzt bricht vielleicht schon bald eine neue Ära der Astrophysik an: Die direkte Erforschung des „dunklen“ Universums rückt in greifbare Nähe! Möglich wird dies durch die bald realisierbare direkte Messung von Einsteins Gravitationswellen.

Wie begann das Universum? Was geschieht im Inneren einer Supernova? Die Beobachtung von Gravitationswellen verspricht, Informationen über die energiereichsten und heftigsten Vorgänge im Universum sowie über seine frühesten Anfänge zu liefern – Wissen aus den 99% des Universums, das für uns bisher im Dunkel lag.

Over 99% of our universe is "dark". We cannot see it with optical, radio or X-ray telescopes because it does not emit light or any other electromagnetic radiation. We know that Black Holes and Dark Energy are there because of gravitational or other side effects. But soon we will have a chance to open a new window into our universe and "see" the "dark universe" through the direct observation of Einstein's gravitational waves!

Raum und Zeit

Seit Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie wissen wir: Masse und Energie beeinflussen die Geometrie von Raum und Zeit. So krümmt die Sonne die sie umgebende Raum-Zeit. Bewegen sich Planeten durch unser Sonnensystem, werden sie abgelenkt und scheinbar von der großen Masse der Sonne angezogen. Tatsächlich folgen sie aber dem kürzesten Weg im gekrümmten Raum. Die Schwerkraft (Gravitation) ist also eine Eigenschaft der Raum-Zeit-Geometrie.

Gravitationswellen

Bewegen sich große Massen, z. B. Sterne oder Galaxien, erzeugen sie Wellen in der Raum-Zeit wie ein Schwimmer im Wasser. Diese so genannten Gravitationswellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit nach allen Seiten aus. Dabei dehnen und stauchen sie abwechselnd den Raum, den sie durchqueren: Die Abstände zwischen den im Raum enthaltenen Objekten ändern sich. Diese Längenänderungen sind aber unvorstellbar winzig. Bei einer Sternexplosion in einer Nachbargalaxie verändert die entstehende Gravitationswelle den enormen Abstand zwischen Erde und Sonne nur um den Durchmesser eines Wasserstoffatoms – und das auch nur für wenige tausendstel Sekunden!

Einstein's theory of general relativity shows that mass and energy bend time and space. As the planets move through our solar system, they appear to be attracted by the sun – but in reality, they are just "rolling down" the curve of the bent space-time created by the sun. If great masses such as stars or galaxies move, they create waves in space-time like a swimmer does in water. These gravitational waves propagate through space-time at the speed of light, compressing and stretching space alternately as they go. This results in an infinitesimally small change of length between objects in space.

Anschrift

in Golm bei Potsdam:
Max-Planck-Institut
für Gravitationsphysik
(Albert-Einstein-Institut)
Am Mühlenberg 1
14476 Golm

Tel.: +49-331-567 7303
Fax: +49-331-567 7298

in Hannover:
Max-Planck-Institut
für Gravitationsphysik
(Albert-Einstein-Institut)
Callinstraße 38
30167 Hannover

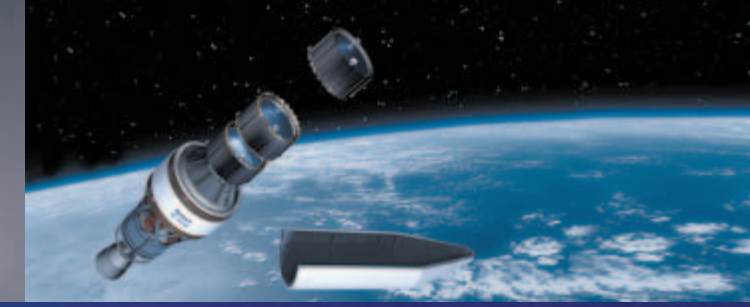
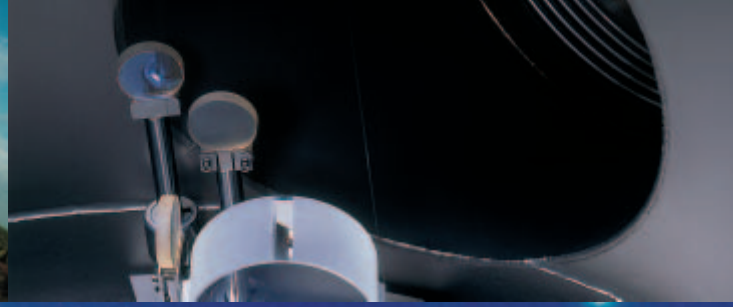
Tel.: +49-511-762 2386
Fax: +49-511-762 2784

www.aei.mpg.de

Das Universum „hören“:
GEO600 und LISA auf der Suche nach Einsteins Gravitationswellen

Max-Planck-Institut
für Gravitationsphysik
ALBERT-EINSTEIN-INSTITUT





Die Herausforderung: Der direkte Nachweis von Gravitationswellen auf der Erde und im All

Weltweit horchen derzeit vier kilometergroße Gravitationswellendetektoren ins All: GEO600 in der Nähe von Hannover, das italienisch-französische Projekt VIRGO und die beiden amerikanischen LIGO-Observatorien können im Frequenzbereich von etwa 10 Hz bis 10.000 Hz messen. GEO600 ist beispielsweise so empfindlich, dass Ebbe und Flut der weit entfernten Nordsee wahrnehmbar sind und selbst leichte Erdbeben in der Südsee deutlich registriert werden.

GEO600 – deutsch-britischer Horchposten ins All

GEO600 ist ein hochmodernes erdgebundenes Laser-Interferometer, das seit 2002 kosmische Klänge aus dem All aufzeichnet. Die Technologie von GEO600 gehört zu den fortschrittlichsten weltweit und wird demnächst auch für die Nachfolgegeneration der amerikanischen Detektoren eingesetzt: Laserstabilisierung, absorptionsfreie Optik, Regelungstechnik, Schwingungsdämpfung und Datenverarbeitung erhielten durch die GEO600-Wissenschaftler ganz neue Impulse. Der deutsch-britische Detektor ist Ideenschmiede und Versuchslabor für die technischen Verbesserungen, die für die nächste Generation von Gravitationswellendetektoren nötig sind.

GEO600 near Hannover in Germany is one of four large earthbound laser interferometer detectors listening into space for gravitational wave frequencies between 10 and 10.000 Hz. It is sensitive enough to detect the tides in the distant North Sea. GEO600 has been collecting cosmic data since 2002. The GEO600 technology is among the most advanced world-wide and will be implemented in the next generation of gravitational wave detectors in Europe and the U.S.

Eine Spezialität von GEO600 ist die Verstärkung von Laserlicht und Signal („Duales Recycling“): Durch zusätzliche Spiegel werden sowohl Laserlicht als auch Signal jeweils mehrfach konstruktiv mit sich selbst überlagert und so verstärkt. Zu den wegweisenden Neuentwicklungen gehört außerdem die Aufhängung der Spiegel an Glasfasern.

In 600 Meter langen Vakuumrohren verläuft ein Laserstrahl mit einer Wellenlänge von 1064 Nanometern. Ein halbdurchlässiger Spiegel teilt den einfallenden Laserstrahl; die beiden rechtwinklig zueinander verlaufenden Teilstrahlen durchlaufen die Messstrecken, werden reflektiert und auf einem Photodetektor überlagert. Da das Interferometer so eingestellt ist, dass die beiden Lichtwellen im Gegenteil schwingen, löschen sie sich gegenseitig aus – der Ausgang des Interferometers bleibt dunkel. Verändert aber eine Gravitationswelle die Länge der beiden Messstrecken, so kommen die Teilstrahlen außer Takt und löschen sich nicht mehr vollständig aus: Am Ausgang erscheint ein Signal.

GEO600's sensitivity is achieved using a special technique to amplify both laser light and signal called "dual recycling". Other groundbreaking developments include mirror suspensions using optical fibres, absorption free optics, laser stabilization and data processing. In GEO600 a laser beam is split into two separate beams running through 600m long vacuum tubes. They are reflected back and superimposed on a photodetector, cancelling each other out perfectly. If a gravitational wave were to change the length of the beams, they would stop being synchronized and a signal would appear.

Weitere Informationen: <http://www.geo600.uni-hannover.de>

LISA – Technologische Herausforderung im Weltraum

Das zukunftsweisende Projekt der Gravitationswellenforschung ist die „Laser Interferometer Space Antenna“ LISA, ein gemeinsames Projekt von ESA und NASA. Ein Detektor im Weltall ist die einzige Chance, Gravitationswellen mit geringerer Frequenz erfassen zu können. LISAs Arme aus Laserlicht werden fünf Millionen Kilometer lang sein. Damit wird LISA das größte je von Menschen geschaffene Gebilde werden und vielleicht sogar empfindlich genug, die Echos des Urknalls zu hören. Mit LISA wird man Wellen zwischen 10^{-4} Hz und 1 Hz messen können.

LISA wird aus drei identischen Satelliten bestehen, die in einer stabilen Formation entlang der Erdbahn fliegen – mit 50 Mio. km Abstand immer der Erde hinterher. Sie bilden die Eckpunkte eines gigantischen Dreiecks, dessen Seiten aus den jeweils 5 Mio. km langen Laserarmen des Interferometers gebildet werden. In jedem der Satelliten sind zwei Teleskope mit einem Durchmesser von 30 cm installiert. Jedes davon ist auf einen der beiden anderen Satelliten ausgerichtet und erfasst einen von dort ausgesendeten Laserstrahl. Dieser wird auf das Kernstück jedes der Satelliten weitergeleitet: Die so genannten Testmassen, die sich hinter jedem Teleskop befinden und frei im Satelliteninneren schweben. Das Laserlicht wird von der hochpolierten Testmasse reflektiert, verstärkt und wieder zum Ausgangsatelliten zurückgestrahlt.

The "Laser Interferometer Space Antenna" LISA will be the first gravitational wave detector in space. Space is the only chance of detecting low frequency waves. The LISA mission will consist of three identical satellites flying in a stable formation behind earth. They form the points of a gigantic triangle with 5 million km long sides formed by the laser arms of the interferometer, making it the largest man-made structure ever and maybe even sensitive enough to detect the echo of the Big Bang. LISA will be able to detect gravitational waves of a frequency between 10^{-4} Hz and 1 Hz.

Das von den Testmassen reflektierte Licht wird ständig mit dem ausgestrahlten Laserlicht verglichen. So kann LISA auch die winzigen, durch eine Gravitationswelle verursachten Abstandsänderungen zwischen den Testmassen der entfernten Satelliten mit einer Genauigkeit von 10 Picometern ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$) nachweisen. Dafür müssen die Testmassen absolut ungestört im freien Fall im Satelliteninneren schweben. Die LISA-Satelliten sind daher so konstruiert, dass sie ihre Testmassen aktiv vor allen äußeren Einflüssen schützen. Die Satelliten ermitteln ständig ihre exakte Position relativ zu den Testmassen. Sie zünden sofort winzige, stufenlos regelbare Ionentriebwerke und halten dagegen, wenn Störungen wie der Strahlungsdruck der Sonne versuchen, den Satelliten zu verschieben. Diese Technologie ist ein Eckpfeiler von LISA und wird „drag-free operation“ genannt.

Mit der LISA Pathfinder-Mission wird die Technologie erprobt. LISA Pathfinder soll schon 2008 abheben, damit die LISA Hauptmission rechtzeitig 2013 ins All starten kann. 2005 haben die Konstruktionsarbeiten dafür begonnen.

LISA wird vor allem Gravitationswellen beobachten, die von verschmelzenden supermassiven Schwarzen Löchern hervorgerufen werden. Ein solches Ereignis tritt z. B. ein, wenn zwei Galaxien miteinander verschmelzen, denn typische Galaxien beherbergen solche gigantischen Schwarzen Löcher in ihrer Mitte. Wie sie genau entstehen, ist bis heute nicht geklärt.

The LISA mission will be launched in 2013. To accomplish its science objectives, the LISA mission depends on three core technologies: gravitational reference sensors, micronewton thrusters, and laser interferometry. These technologies will help to counteract the mission's biggest challenge – disturbances that mimic gravitational waves. These technologies will be tested in the LISA Pathfinder mission scheduled for 2008. Construction has already begun in 2005.

Weitere Informationen: <http://lisa.jpl.nasa.gov>