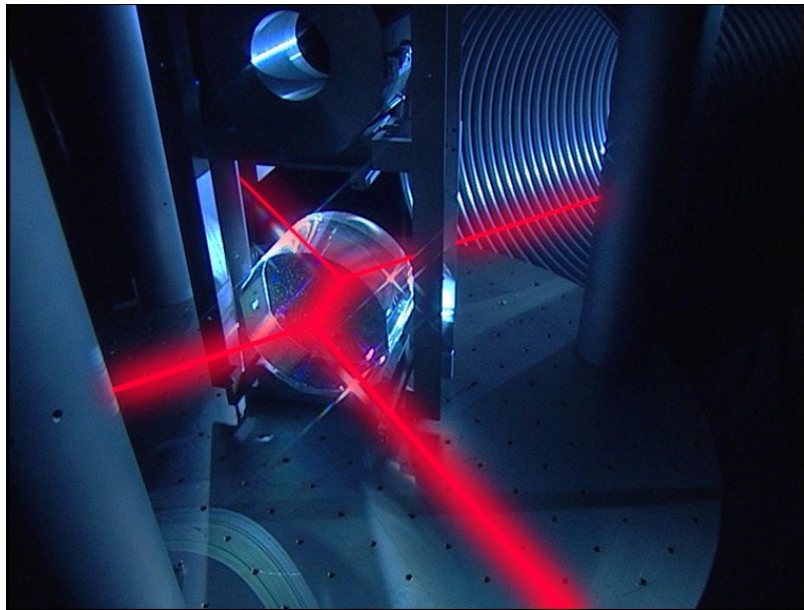


GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Das Einstein-Wellen-Mobil kommt — auch zu Ihrem Planetarium, zu Ihrer Schule oder zu Ihrer Veranstaltung



Wissenschaft und Technik aktiv verstehen

Das Einstein-Wellen-Mobil ist eine mobile aktive Ausstellung über Relativitätstheorie, Astronomie, Gravitationswellen, Laser- und Raumfahrttechnologie. Die Ausstellung steht Schulen, Planetarien und anderen Institutionen auf Anfrage für den individuellen Einsatz zur Verfügung. Computersimulationen, Filme und viele Mitmach-Exponate sorgen dafür, dass die Welt komplexer Wissenschaft und hochgezüchteter Technologie ihren Schrecken verliert und erlebbar wird.

Dabei beschränkt sich das Einstein-Wellen-Mobil nicht auf bunte und spektakuläre Effekte. Es bietet die Möglichkeit, auf spielerische Weise die Konzepte kennen zu lernen und zu verstehen, auf denen Gravitationsphysik und Astronomie aufbauen. Es möchte Begeisterung und Neugier wecken, sich tiefer mit den gezeigten Themen zu beschäftigen.

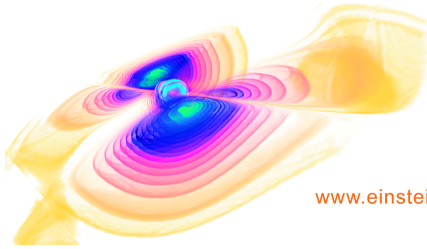
So erreichen Sie uns:

Telefon: (07071) 297 5944

Fax: (07071) 29 5889

E-Mail: nollert@uni-tuebingen.de

www.einsteinwelle.de



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Filme

- Spezielle Relativitätstheorie
- Relativistisches Sehen
- Allgemeine Relativitätstheorie
- Gravitationswellen

Simulationen

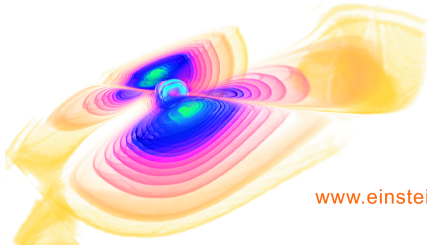
- Effekt einer Gravitationswelle
- Binärpulsar
- Black hole hunter
- Einstein@home

Experimente

- Relativistische Fahrradfahrt
- Ungewohnte Geometrie
- Wir basteln ein Schwarzes Loch
- Michelson-Interferometer (mit Laser)
- Zielen mit dem Laser: Eine technische Herausforderung
- Klangfiguren: Was der Sound über das Innenleben verrät

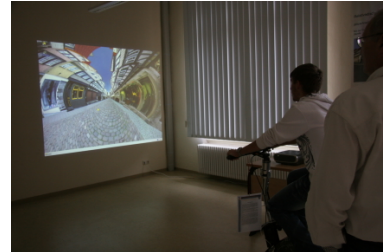
Modelle

- Spiegelaufhängung mit Wirbelstrombremse
- Strahlteiler aus GEO600
- Interaktives virtuelles 3D-Modell eines LISA-Satelliten
- LISA im Orbit



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Einsteinfahrrad

Hier kann man erfahren: Die Welt sieht im Rahmen der Relativitätstheorie anders aus als gewohnt.
Die Veränderungen, die die begrenzte Lichtgeschwindigkeit auf das Bild einer Szene hat, können erfahren und nachvollzogen werden.

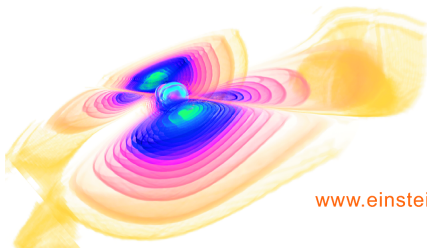
Mitmachgrad: Hoch

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Definition von Geschwindigkeit
Vektoreigenschaft von Geschwindigkeiten
Addition von Geschwindigkeiten

Rolle des Lehrers: Hinweis auf die erkennbaren Effekte

Technische Voraussetzungen: Stromanschluss
Leinwand oder andere geeignete Projektionsfläche

Beschreibung: Das Einsteinfahrrad erweist sich oft als das beliebteste Exponat der „Einstein-Wellen-mobil“. Es wird gerade auch von jüngeren Schülern begeistert angenommen. Dabei werden nicht immer alle angebotenen Lerninhalte auch aufgenommen. In jedem Fall verstehen Schüler, dass die Welt in bestimmten Bereichen und Bedingungen, die vom Üblichen abweichen, ganz anders aussehen kann als gewohnt. Ihre Neugier wird geweckt, es entsteht der Wunsch, Unbekanntes, Ungewohntes zu entdecken und weiter zu erforschen.



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Filmstationen



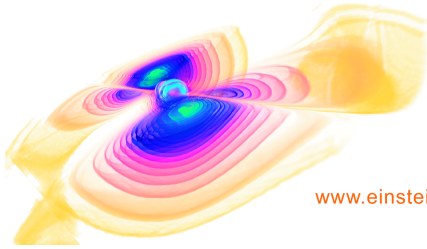
Vier Filmstationen ermöglichen das Abspielen von jeweils mehreren erklärenden Filmen zu den Themen:

- Spezielle Relativitätstheorie
- Relativistisches Sehen
- Allgemeine Relativitätstheorie
- Gravitationswellen

Die Filme behandeln die jeweiligen Themen auf anschauliche Weise, ohne Voraussetzungen über das Vorwissen der Betrachter zu machen.

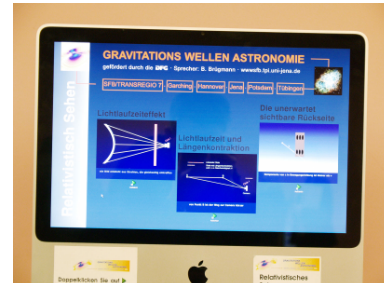
Das Abspielen der Filme wird durch das Anklicken des jeweiligen Icon gestartet. Die Abspielsoftware erlaubt das Anhalten sowie das Vor- und Zurückspringen innerhalb der Filme.

Die Filme enthalten keinen Audiotrack. Eine Ausnahme stellen die Filme der Station „Gravitationswellen“ dar, hier gibt es Soundtracks, die für das Verständnis des Inhalts aber nicht erforderlich sind. Sie können daher deaktiviert werden, um den Lärmpegel nicht zu erhöhen. Darunter leidet allerdings der Unterhaltungswert dieser Filme.



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Filme: Relativistisches Sehen

Hier kann man erfahren: Wie entsteht ein Bild einer Szene beim Betrachter.
Wie beeinflussen relativistische Längenkontraktion und begrenzte Lichtgeschwindigkeit diesen Prozess.

Mitmachgrad: Mittel

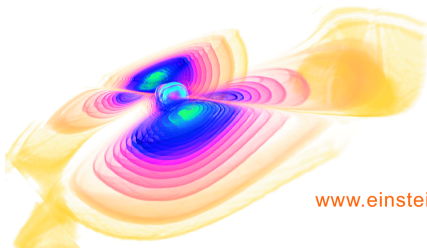
Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Grundgedanke der geometrischen Optik

Rolle des Lehrers: Minimale Einführung in die Handhabung der Abspielsoftware

Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch, Stühle

Beschreibung: Drei Filme mit den Themen:

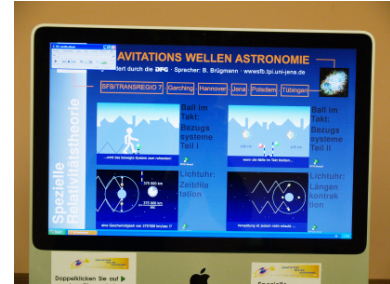
- Relativistisch Sehen — der Lichtlaufzeiteffekt (2m48s)
- Relativistisch Sehen — Lichtlaufzeiteffekt und Längenkontraktion (5m36s)
- Relativistisch Sehen — die unerwartet sichtbare Rückseite (2m05s)



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Filme: Spezielle Relativitätstheorie



Hier kann man erfahren: Bewegte Uhren gehen langsamer, bewegte Maßstäbe sind verkürzt — wie soll man so etwas verstehen? Ganz einfach...

Mitmachgrad: Mittel

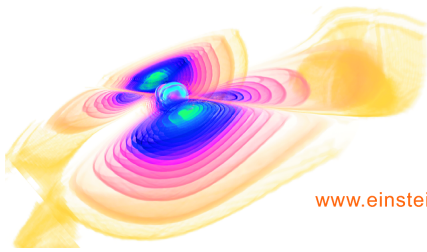
Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Grundwissen über Geschwindigkeit

Rolle des Lehrers: Minimale Einführung in die Handhabung der Abspieldsoftware

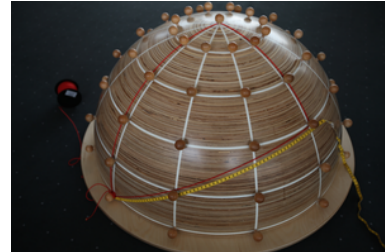
Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch, Stühle

Beschreibung: Vier Filme führen in die grundlegenden Konzepte der speziellen Relativitätstheorie ein. Anhand anschaulicher Beispiele wird gezeigt, wie die Ergebnisse von Messungen vom Bezugssystem des Messenden abhängt, insbesondere davon, ob sich das Bezugssystem der Messung gegenüber dem Objekt, an dem die Messung vorgenommen wird, bewegt. Gedankenexperimente mit einer Lichtuhr, deren 'Pendel' aus hin- und her reflektierten Lichtstrahlen besteht, zeigen ohne jeden mathematischen Ballast, wie Zeitdilatation und Längenkontraktion zustande kommen.

- Ball im Takt: Bezugssysteme Teil I (1m24s)
- Ball im Takt: Bezugssysteme Teil II (1m46s)
- Lichtuhr: Zeitdilatation (3m55s)
- Lichtuhr: Längenkontraktion (2m15s)



Sphärische Geometrie



Hier kann man erfahren: Die Geometrie in gekrümmten Räumen (hier dargestellt durch die gekrümmte Oberfläche der Kugel) unterscheidet sich wesentlich von der im gewohnten flachen Raum (in einer Ebene). Es ist nicht erforderlich, die Kugeloberfläche zu verlassen, um Messungen durchzuführen, mit denen diese Unterschiede untersucht werden.

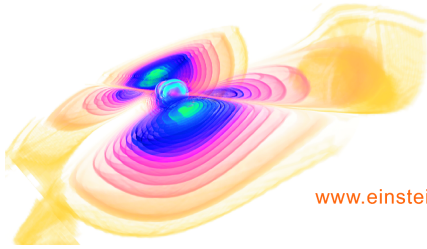
Mitmachgrad: Hoch

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Umfang eines Kreises
Winkelsumme im Dreieck
Optional: Satz des Pythagoras
Flächeninhalt von Dreiecken
Geraden als kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten

Rolle des Lehrers: Evtl. Rekapitulation der Voraussetzungen
Einführung der Aufgabenstellungen
Hinweise zur praktischen Durchführung

Technische Voraussetzungen: Tisch

Beschreibung: Auf der Oberfläche einer großen Holzkugel, die mit Holzstiften als „Ankerpunkte“ versehen ist, kann man Schnüre spannen und vermessen und so die Geometrie auf der Kugeloberfläche erforschen. Stellt ein Breitenkreis die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten dar? Gilt die bekannte Beziehung zwischen Radius und Umfang eines Kreises? Beträgt die Winkelsumme im Dreieck 180 Grad? Gilt der Satz des Pythagoras? Alle Messungen können durchgeführt werden, ohne die Kugeloberfläche zu verlassen, sie sind also unabhängig vom drei-dimensionalen Raum, der die Kugel umgibt. Damit wird der gedankliche Übergang von der Außen- zur Innenperspektive begreifbar gemacht.



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Filme: Allgemeine Relativitätstheorie

Hier kann man erfahren: Wie sähe die Welt aus, wenn die relativistischen Effekte erheblich stärker wären, als sie es in unserer Welt sind? Oder wenn wir uns in der Nähe von Objekten mit sehr starker Gravitation, wie beispielsweise schwarzen Löchern, aufhalten könnten? Wie kann man sich einen gekrümmten Raum vorstellen? Oder gar eine gedehnte Zeit? Wie bewirken Raumkrümmung und Zeitdehnung zusammen den Effekt, den wir als Lichtablenkung wahrnehmen?

Mitmachgrad: Mittel

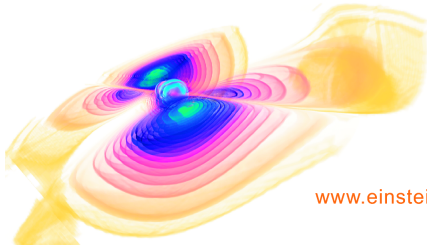
Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Vertrautheit mit geometrischen Vorstellungen
Grundgedanke der geometrischen Optik

Rolle des Lehrers: Minimale Einführung in die Handhabung der Abspielsoftware

Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch, Stühle

Beschreibung: Vier Filme mit den Themen:

- ART — was wir sehen (ms)
- ART — der gekrümmte Raum (ms)
- ART — die gedehnte Zeit (3m07s)
- ART — Raumzeit und Lichtablenkung (ms)



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Schwarzes Loch basteln



**Hier kann man
erfahren:**

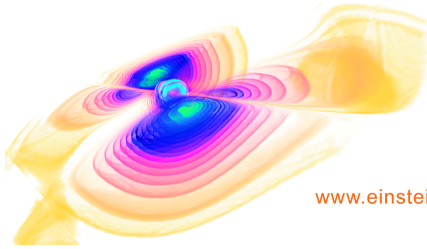
Mitmachgrad: Hoch

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional:

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens

**Technische Voraus-
setzungen:** Tisch, Stühle

Beschreibung:



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Filme: Gravitationswellen

Hier kann man erfahren: Was sind Gravitationswellen, welche Wirkung haben sie, wie können sie gemessen werden?
Eindrücke aus der Welt der Gravitationswellendetektoren GEO600 und LISA

Mitmachgrad: Mittel

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Grundwissen über Optik, Interferenz
Grundwissen über elektromagnetische Strahlung

Rolle des Lehrers: Minimale Einführung in die Handhabung der Abspielsoftware

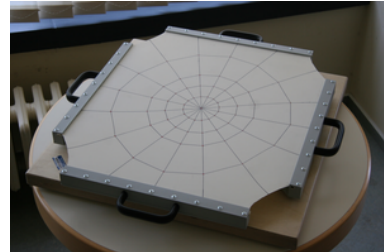
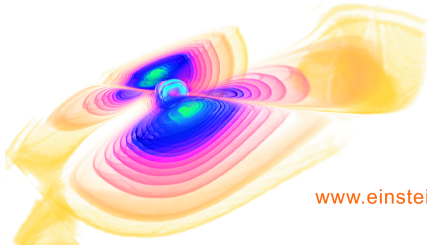
Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch, Stühle

Beschreibung: Diese Filmstation bietet drei verschiedene Filme zum Thema Gravitationswellen, die voneinander unabhängig sind:

Gravitationswellen: Wesen, Wirkung, Nachweis von Gravitationswellen

GEO600: Eindrücke aus der Welt des Gravitationswellendetektors GEO600 in der Nähe von Hannover, der von der Universität Hannover und dem Albert-Einstein-Institut betrieben wird

LISA: Animationen über Start und Betrieb des geplanten welt-raumgestützten Laserinterferometers LISA.



Wirkung einer Gravitationswelle

Hier kann man erfahren: Gravitationswellen verzerren die Geometrie des Raumes und verändern dadurch den Abstand von Punkten, die sich (lokal) nicht bewegen.

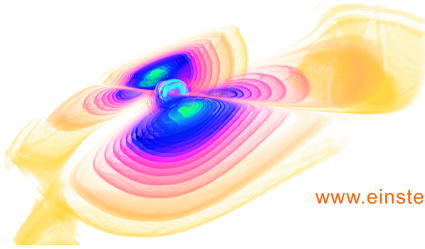
Mitmachgrad: Mittel

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Bewegung und Beschleunigung, Kräfte, Scheinkräfte

Rolle des Lehrers: Hinführung auf die Fragestellung

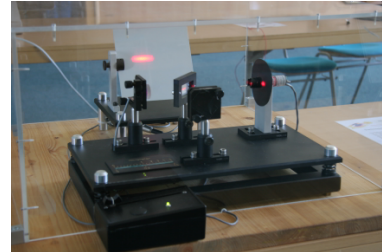
Technische Voraussetzungen: Tisch

Beschreibung: Eine Latexfolie kann mechanisch verzerrt werden. Ein ursprünglich kreisförmiges Muster aufgemalter Punkte verändert dadurch seine Gestalt. Die Punkte verändern ihren Abstand zueinander, obwohl sie sich auf der Folie nicht bewegen können. Dies dient als Analogie zur Wirkung einer Gravitationswelle, die den Raum in ähnlicher Weise verzerrt, wie hier die Latexfolie verzerrt wird. Das Konzept einer veränderlichen inneren Geometrie — im Unterschied zu einer von außen beobachteten Verformung — wird damit anschaulich gemacht.



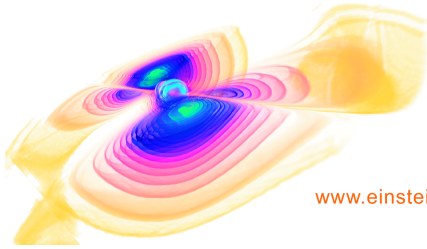
GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Michelson-Interferometer

- Hier kann man erfahren:** Komponenten, Funktionsweise und Empfindlichkeit eines Michelson-Interferometer, hier betrieben mit Laserlicht.
- Mitmachgrad:** Mittel
- Voraussetzungen:** **Erforderlich:** Grundbegriffe der Optik:
Lichtstrahl, Reflexion am Spiegel
Optional: Wellenlehre, Interferenz
- Rolle des Lehrers:** Vorführung des Modells
Erklärung im Rahmen vorhandenen Vorwissens
Anleitung zum eigenen Experimentieren
- Technische Voraussetzungen:** Stromanschluss, Tisch
- Beschreibung:** Gravitationswellen erzeugen winzige Längenänderungen. Zu ihrer Messung ist ein Michelson-Interferometer das ideale Instrument. Es besteht aus einem Laser, einem Strahlteiler und zwei Spiegeln. Der Strahlteiler lässt den Laserstrahl zur Hälfte durch, die andere Hälfte wird reflektiert. Die beiden Teilstrahlen durchlaufen die senkrecht zueinander stehenden Messstrecken, werden von den Endspiegeln zurückgeschickt und am Strahlteiler zur Interferenz gebracht.
Bei diesem funktionstüchtigen Tischmodell kann die Länge der einen Messstrecke künstlich verändert werden. Dazu ist einer der Endspiegel auf einen Piezokristall geklebt, der sich beim Anlegen einer Spannung ausdehnt. Mit dem Schieberegler kann die Spannung kontinuierlich verändert und die Strecke so um bis zu 1,5 Mikrometer verlängert werden. Auf dem Schirm beobachtet man, dass selbst derart kleine Änderungen zu einer deutlichen Helligkeitsschwankung in der Mitte des Ringsystems führen. Das System reagiert schon auf kleinste Erschütterungen mit einer Veränderung des Interferenzmusters.



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Modell: Strahlteiler aus GEO600

Hier kann man erfahren:

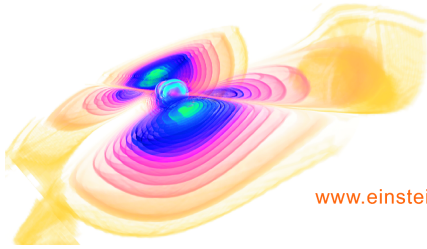
Mitmachgrad: Niedrig

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional:

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens

Technische Voraussetzungen: Tisch

Beschreibung:



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Modell: Spiegelaufhängung mit Wirbelstrombremse



Hier kann man
erfahren:

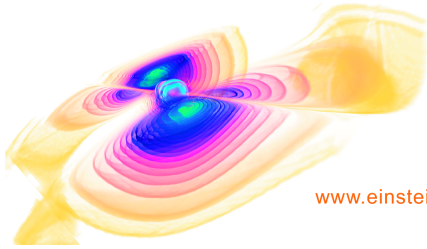
Mitmachgrad: Mittel

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Resonanzverhalten eines Pendels
Optional: Induktionsgesetz

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens

Technische Voraus-
setzungen: Tisch

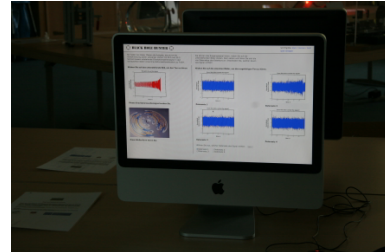
Beschreibung:



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Black Hole Hunter



**Hier kann man
erfahren:**

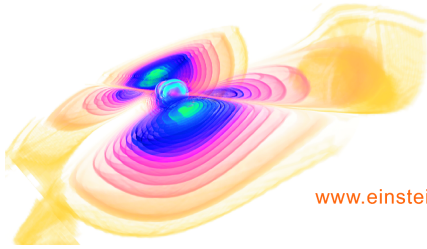
Mitmachgrad: Hoch

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional:

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens

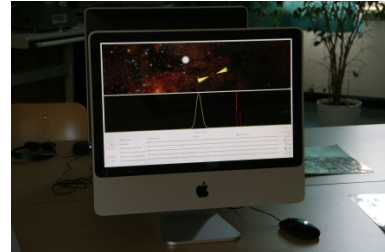
Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch, Stühle

Beschreibung:



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG



Simulation: Binärpulsar

**Hier kann man
erfahren:**

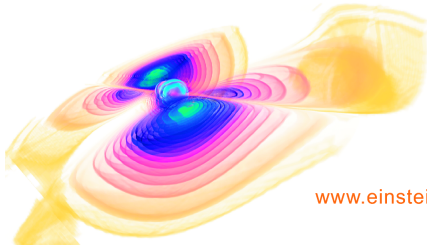
Mitmachgrad: Mittel

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional:

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens

Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch, Stühle

Beschreibung:



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Screen Saver: Einstein@Home



**Hier kann man
erfahren:**

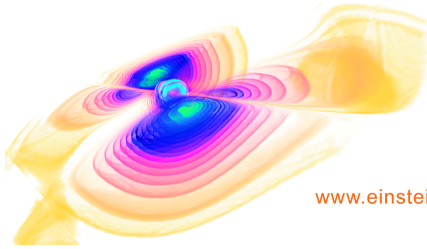
Mitmachgrad: Niedrig

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional:

Rolle des Lehrers: Erklärung von Hintergrund, Funktion und Zweck

Technische Voraussetzungen: Gehört zu den Stationen „Binärpulsar“ und „Black Hole Hunter“

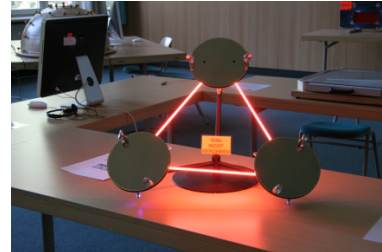
Beschreibung:



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Modell: LISA



Hier kann man erfahren: Aufbau eines weltraumgestützten Gravitationswellendetektors, Umlaufbahn, technische Anforderungen

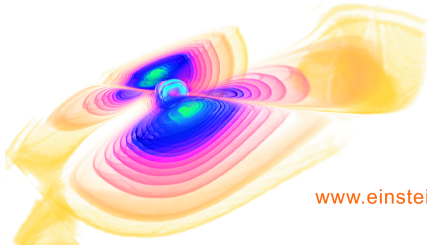
Mitmachgrad: Niedrig

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional: Keplersche Gesetze, Planetenbahnen

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens
Aufgabenstellung zu Details der Umlaufbahn, Zielgenauigkeit der Laser

Technische Voraussetzungen: Stromanschluss, Tisch

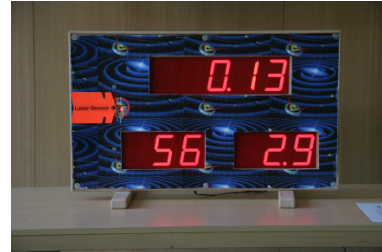
Beschreibung: Die Empfindlichkeit eines Gravitationswellendetektors wächst mit seiner Größe. Auf der Erde kann man bestenfalls Messstrecken von einigen Kilometern Länge realisieren. Deshalb ist ein Detektor im Weltall geplant (LISA steht für „Laser Interferometer Space Antenna“). LISA besteht aus drei Satelliten, die über eine Strecke von fünf Millionen Kilometern Laserstrahlen austauschen und so Gravitationswellen aufspüren können, die eine sehr niedrige Frequenz — bis hinunter zu einer Schwingung in Tausend Sekunden — haben. Die drei Satelliten bilden ein gleichseitiges Dreieck, das der Erde in 50 Millionen km Abstand auf ihrer Bahn um die Sonne folgt. Das Modell illustriert, wie das aus den Satelliten gebildete Dreieck zur Ekliptik geneigt sein muss, damit die Anordnung während des Umlaufs um die Sonne stabil bleibt. LISA war als Gemeinschaftsprojekt von NASA und ESA geplant. Anfang 2011 hat sich die NASA aus dem Projekt zurückgezogen. Zur Zeit wird versucht, LISA so zu verändern, dass es von der ESA alleine realisiert werden kann.



GRAVITATIONS WELLEN ASTRONOMIE

www.einsteinwelle.de · Garching · Hannover · Jena · Potsdam · Tübingen DFG

Zielen mit dem Laser



**Hier kann man
erfahren:**

Mitmachgrad: Hoch

Voraussetzungen: **Erforderlich:** Keine
Optional:

Rolle des Lehrers: Erläuterung des Modells im Rahmen vorhandenen Vorwissens

Technische Voraussetzungen: Tisch, ca. 5m freie Zielstrecke

Beschreibung: