

Allgemeine Relativitätstheorie

weitere Experimente unter
[forschen.tutorium-berlin.de](https://www.forschen.tutorium-berlin.de)



Nachhilfe-TUTORIUM ist ein Unternehmen der Gruppe
TUTORIUM Berlin Hasenmark 5 in 13585 Berlin

Die allgemeine Relativitätstheorie beschreibt die Wechselwirkung zwischen Materie und Feldern einerseits sowie Raum und Zeit andererseits. Sie deutet Gravitation als geometrische Eigenschaft der gekrümmten vierdimensionalen Raumzeit.

Die Grundlagen der Theorie wurden maßgeblich von Albert Einstein entwickelt und erstmals 1915 vorgestellt.

Grundlagen der allgemeine Relativitätstheorie

Die Ausgangspunkte der allgemeine Relativitätstheorie lassen sich als drei grundlegende Prinzipien formulieren:

Das **Relativitätsprinzip** besagt, dass die Naturgesetze für alle Beobachter dieselbe Form haben. Einfache Überlegungen zeigen, dass es aus diesem Grund unmöglich ist, einen bevorzugten oder absoluten Bewegungszustand irgendeines Beobachters oder Objekts festzustellen. Das heißt, es können nur die Bewegungen der Körper relativ zu anderen Körpern festgestellt werden, nicht jedoch die Bewegungen der Körper relativ zu einem bevorzugten Bezugssystem.

Das Relativitätsprinzip wurde zuerst 1632 von Galileo Galilei für mechanische Vorgänge formuliert. Die klassische Physik erweiterte dies auf gleichförmig und unbeschleunigt bewegte Systeme. Die allgemeine Relativitätstheorie zeigt nun das dieses Prinzip auch für beschleunigte Bezugssysteme gilt.

Das **Äquivalenzprinzip** der Physik drückt aus, dass die schwere und die träge Masse eines Körpers zwei äquivalente Größen sind. (Die schwere Masse gibt an wie stark die durch ein Gravitationsfeld an einem Körper erzeugte Kraft ist. Die träge Masse gibt an wie stark ein Körper durch eine Kraft beschleunigt wird).

Diese Formulierung gibt in moderner Ausdrucksweise die frühen Feststellungen von Galileo Galilei und Isaac Newton wieder, dass beim freien Fall alle Körper gleich beschleunigt werden.

Das einsteinsche starke Äquivalenzprinzip besagt, dass ein Beobachter in einem geschlossenen Labor ohne Wechselwirkung mit der Umgebung durch überhaupt kein Experiment feststellen kann, ob er sich in der Schwerelosigkeit fernab von Massen befindet oder im freien Fall nahe einer Masse.

Das **Machsches Prinzip** bezeichnete Einstein Annahme, dass die Trägheitskräfte eines Körpers nicht von dessen Bewegung relativ zu einem absoluten Raum, sondern von dessen Bewegung relativ zu den anderen Massen im Universum abhängen. Die Trägheitskräfte sind nach dieser Auffassung also Resultat der Wechselwirkung der Massen untereinander, und ein unabhängig von diesen Massen existierender Raum wird verneint. Demnach sollten beispielsweise Fliehkräfte rotierender Körper verschwinden, wenn das restliche Universum „mitrotiert“.

Die allgemein gehaltene Version des machschen Prinzips, die Einstein formulierte, ist zu ungenau, um entscheiden zu können, ob sie mit der allgemeine Relativitätstheorie vereinbar ist. Es wurden bereits mehrere Modelle formuliert die nach der allgemeine Relativitätstheorie möglich wären aber das machsche Prinzip verletzen.

TUTORIUM Berlin Nachhilfe -TUTORIUM

Inhaber u. Pädagogischer Leiter: **Holger Schackert**
Diplom-Mathematiker, Lerntherapeut,
Psychologischer Berater u. Personal Coach

Hasenmark 5 in 13585 Berlin-Spandau, Büro: Gartenhaus 1.Etage

Anmeldung, Beratung und Informationen:

Montag - Freitag: 14.30-17.00 Uhr

und / oder nach Vereinbarung unter

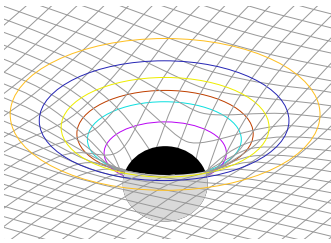
☎: **030 – 85018820** und 030 – 353 053 20

www.Tutorium-Berlin.de

E-Mail: info@tutorium-berlin.de

www.Nachhilfe-Tutorium.de

E-Mail: info@nachhilfe-tutorium.de



Allgemeine Relativitätstheorie

weitere Experimente unter
forschen.Tutorium-Berlin.de



Experimenteller Nachweis

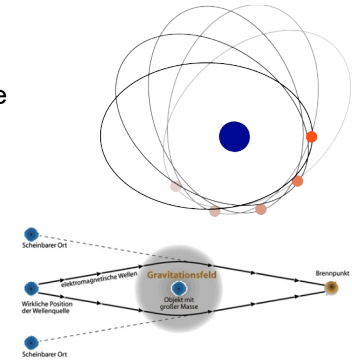
Zur experimentellen Überprüfung der allgemeinen Relativitätstheorie reicht es nicht aus, Experimente durchzuführen, mit denen man zwischen der allgemeinen Relativitätstheorie und der newtonschen Mechanik entscheiden kann. Da es konkurrierende Gravitationstheorien gibt, müssen die Experimente auch diese berücksichtigen. Abweichungen von den Vorhersagen könnten auch ein neuer Anstoß zur Entwicklung einer schlüssigen und experimentell überprüfaren Quantentheorie der Raumzeit sein.

Periheldrehung des Merkur

Bereits 1859 erkannte Urbain Le Verrier, dass die Bahn des Merkur von der newtonschen Mechanik abweicht. Die Allgemeine Relativitätstheorie erklärt die Abweichung mit der Raumkrümmung durch die Masse der Sonne.

1919: Gravitationslinseneffekt

Die Sonnenfinsternis vom 29. Mai 1919 ausgenutzt, um die scheinbare Verschiebung der Position eines Sternes nahe der Sonnenscheibe zu messen. Damit sollte der Einfluss der Gravitation auf elektromagnetische Strahlung bestimmt werden. Die Messung bestätigte die Allgemeine Relativitätstheorie. Die Abweichung war doppelt so groß wie die klassische (newtonsche) Physik vorhersagt, da diese nur die Zeitkoordinate und nicht die Raumkoordinate ändert.



1960: Pound-Rebka-Experiment

Mit diesem Experiment wurde die gravitative Spektralverschiebung von Gamma-Strahlung im Gravitationsfeld der Erde nachgewiesen. Dieser Effekt ist eine Folge der Dehnung der Zeit in der Nähe von Massen.

1978: GPS

Ein unbeabsichtigter Nachweis der Dehnung der Zeit in der Nähe von Massen erfolgte beim Start der ersten GPS-Satelliten. Diese ignorierten die Voraussage einer bemerkbaren gravitativen Zeitdilatation, sodass der Satellit ohne entsprechende Uhreinstellung gestartet wurde. Die Uhren zeigten die erwartete Verschiebung gemäß Relativitätstheorie von 38 Mikrosekunden pro Tag. Die Abweichungsrate ist ausreichend, um die Funktionen des GPS substanziell innerhalb von Stunden zu beeinträchtigen, wenn sie nicht berücksichtigt wird.

1984: indirekten Nachweis von Gravitationswellen

Gemäß der Relativitätstheorie kann sich nichts schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegen. Lokale Änderungen im Gravitationsfeld können sich daher nur nach endlicher Zeit auf entfernte Orte auswirken. Daraus folgerte Albert Einstein 1916 die Existenz von Gravitationswellen.

Der Hulse-Taylor-Pulsar bildet zusammen mit einem weiteren, unsichtbaren Neutronenstern ein Doppelsternsystem. Die Entdecker des Pulsars Hulse und Taylor konnten zeigen, dass sich Abstand und Umlaufzeit der beiden Sterne ständig reduzieren. Der dabei entstehende Energieverlust entspricht den vorhergesagten Abstrahlungsverluste durch Gravitationswellen. Momentan schrumpft der Radius der Umlaufbahn des Pulsars um etwa 3,5m pro Jahr, d.h. die Sterne werden in etwa 300 Mio. Jahre kollidieren.

TUTORIUM Berlin

Nachhilfe -TUTORIUM

Inhaber u. Pädagogischer Leiter: **Holger Schackert**
Diplom-Mathematiker, Lerntherapeut,
Psychologischer Berater u. Personal Coach

Hasenmark 5 in 13585 Berlin-Spandau, Büro: Gartenhaus 1.Etage

Anmeldung, Beratung und Informationen:

Montag - Freitag: 14.30-17.00 Uhr

und / oder nach Vereinbarung unter

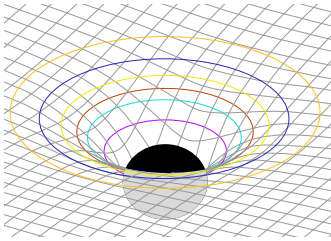
☎: 030 - 85018820 und 030 - 353 053 20

www.Tutorium-Berlin.de

E-Mail: info@tutorium-berlin.de

www.Nachhilfe-Tutorium.de

E-Mail: info@nachhilfe-tutorium.de



Allgemeine Relativitätstheorie

weitere Experimente unter
[forschen.Tutorium-Berlin.de](https://www.forschen.tutorium-berlin.de)



2003: indirekten Nachweis von Gravitationswellen verfeinert

Mit dem Doppelpulsarsystem PSR J0737–3039 wurden die 1984 durchgeführten Beobachtungen verbessert als erstmals ein passendes System mit 2 Pulsaren entdeckt wurde. Während der Hulse-Taylor-Pulsar um einen unsichtbaren Begleiter kreist konnten hier beide Sterne direkt beobachtet und vermessen werden.

Die beiden 2400 Lichtjahre von der Erde entfernten Pulsare umkreisen sich in nur 147 Minuten. Dabei rotiert der eine 44-mal pro Sekunde, während der andere 2,8 Sekunden pro Umdrehung braucht.

2015: Direkter Nachweis von Gravitationswellen

Forscher der Forscher der LIGO-Kollaboration konnten erstmals die Gravitationswellen messen, die bei der Kollision zweier Schwarzer Löcher erzeugt worden waren.

2019: gravitative Spektralverschiebung bei Schwarzem Loch beobachtet

Die systematische Beobachtung der Sterne in der Nähe des Schwarzen Loches im Zentrum unserer Galaxie zeigt das ihr Licht für uns röter erscheint als bei ähnlichen Sternen. Dieser als gravitative Spektralverschiebung Effekt entsteht durch die von der Relativitätstheorie vorhergesagten Zeitdehnung in der Nähe großer Massen.

Die Messungen zeigen damit, dass die allgemeine Relativitätstheorie auch in der extremen Gravitation in der Nähe von schwarzen Löchern korrekt ist.

2021: verbesserte Messung von PSR J0737-3039

Durch die kontinuierliche Beobachtung des 2003 entdeckten Systems konnten neben dem Energieverlust durch Gravitationswellen weitere durch die Allgemeine Relativitätstheorie vorhergesagte Effekte vermessen werden. Die Wissenschaftler konnten die Verlangsamung der Zeit im Schwerefeld der Pulsare bestimmen und außerdem beobachten, wie Licht aufgrund der Gravitation abgelenkt wird.

Auch den Lense-Thirring-Effekt wiesen die Forscher aus den sich drehenden Bahnen der Pulsare nach. Da sich die Pulsare schnell drehen, ziehen sie die Raumzeit in ihrer Umgebung gewissermaßen mit sich.

Quellen:

https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Allgemeine_Relativit%C3%A4tstheorie&oldid=226390888

https://de.wikipedia.org/wiki/Tests_der_allgemeinen_Relativit%C3%A4tstheorie

Gravitation_space_source.svg: Maschen (this SVG file), CC0, via Wikimedia Commons

Von Horst Frank, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23865175>

TUTORIUM Berlin Nachhilfe -TUTORIUM

Inhaber u. Pädagogischer Leiter: **Holger Schackert**
Diplom-Mathematiker, Lerntherapeut,
Psychologischer Berater u. Personal Coach

Hasenmark 5 in 13585 Berlin-Spandau, Büro: Gartenhaus 1.Etage

Anmeldung, Beratung und Informationen:

Montag - Freitag: 14.30-17.00 Uhr

und / oder nach Vereinbarung unter

☎: **030 – 85018820** und 030 – 353 053 20

www.Tutorium-Berlin.de

E-Mail: info@tutorium-berlin.de

www.Nachhilfe-Tutorium.de

E-Mail: info@nachhilfe-tutorium.de