



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Lernwerkstatt: Die allgemeine Relativitätstheorie - einfach erklärt

Das komplette Material finden Sie hier:

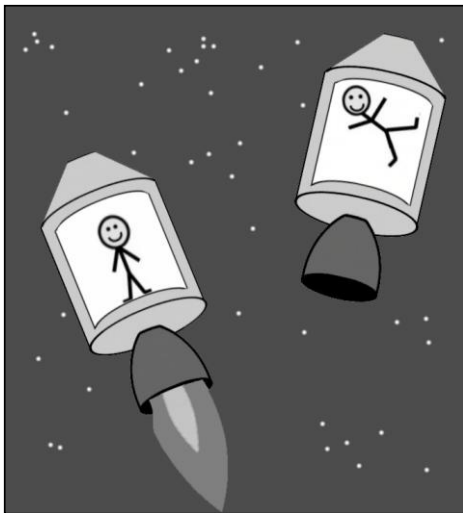
School-Scout.de



Was ist Gravitation?

Unsere Erde ist ein schöner Planet, besonders, weil viele physikalische Phänomene, Naturkonstanten und Grundkräfte es uns ermöglichen, überhaupt darauf leben zu können. Eine dieser physikalischen Grundkräfte ist die Gravitation. Sie wird in der klassischen Physik durch Kraftfelder beschrieben, und je höher die Masse eines Körpers ist, umso stärker ist seine Anziehungskraft. In Einsteins ART fällt die Beschreibung der Gravitation anders aus, genauer gesagt wird hier die Gravitation nur als eine Scheinkraft angesehen, als ein Aspekt der Geometrie von Raum und Zeit... aber dazu später mehr.

Das Prinzip der Äquivalenz von träger und schwerer Masse kennt ihr sicher alle, und wisst, dass jeder Körper sich unabhängig von seiner Masse bei Abwesenheit anderer Kräfte in einem Schwerfeld gleich bewegt. Im Vakuum fallen eine Feder und eine Stahlkugel gleich schnell zu Boden. Lasst uns daran anknüpfen und ein paar Überlegungen anstellen...

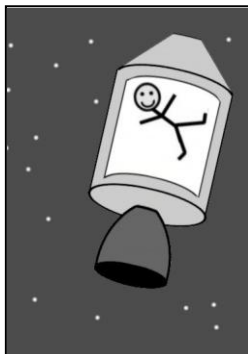


Ihr befindet euch auf einer Raumstation, die frei durch den Weltraum treibt, weit entfernt von allen Gravitationsquellen. Ihr erfahrt keine Gravitation, spürt euer eigenes Gewicht nicht, und alle Dinge um euch herum fliegen einfach durch die Gegend.

Plötzlich taucht neben euch ein Kollege in seiner raketenbetriebenen Raumstation auf.

Ihre Beschleunigung beträgt $9,81 \text{ m/s}^2$ - genau wie die Schwerebeschleunigung, mit welcher Körper nahe der Erdoberfläche zu Boden fallen. Er fühlt sich genauso schwer wie auf der Erde, und alle Körper in seiner Raumstation fallen genau so zu Boden, wie sie es auf der Erde tun.

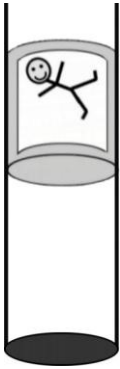
Aber trotzdem wirkt hier keine Gravitation! Für euch in eurer frei treibenden Raumstation ist der Fall eindeutig: der Kollege betrachtet die Welt von einem beschleunigten Bezugssystem aus, nur deshalb sieht es für ihn aus, als würden alle Dinge zu Boden fallen. Sobald er das Raketentriebwerk abschaltet ist es damit vorbei.



Anders herum ist es genauso: Stellt euch vor, ihr seid in einer fensterlosen Kabine, und ihr schwebt frei darin herum, genau wie alle anderen Gegenstände darin.

Es könnte sein, dass ihr euch in einer nahezu gravitationsfreien Umgebung befindet, im Weltraum, weit entfernt von großen Massen.

Aber könnte es nicht auch anders sein?



Es wäre doch auch möglich, dass ihr auf der Erde seid - in einer Kabine, die sich im freien Fall befindet! Die Kabine, ihr selbst und alle Gegenstände darin werden dann auf gleiche Art beschleunigt und die Gravitation ist nicht spürbar. Die physikalischen Phänomene sind genauso wie in der Schwerelosigkeit!

Wenn ihr so darüber nachdenkt - könnte es mit der Gravitation auf der Erde nicht dasselbe sein? Könnte sie eine Folge des beschleunigten Bezugssystems sein, von dem aus wir die Welt betrachten, und könnte sie verschwinden, wenn wir uns in einem frei fallenden Bezugssystem befinden?

Genau diese Gedanken sind auch Einstein durch den Kopf gegangen, als er an seiner ART arbeitete und heraus kam das Äquivalenzprinzip:

Ein linear beschleunigtes Koordinatensystem ist lokal identisch zu einem System, das sich im freien Fall befindet.

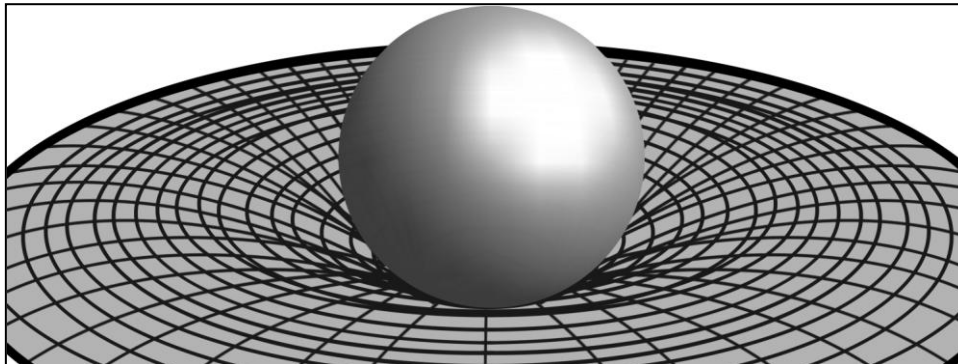
Lokal ist ein nichtrotierender freier Fall nicht unterscheidbar von einer Abwesenheit der Gravitation.

Wichtig ist hierbei, dass dieses Prinzip nur lokal gilt! Es gilt nur für kleine Bezugssysteme! Je näher an der Erde sich nämlich ein Objekt befindet, umso stärker wird es angezogen. Stellt euch einen wirklich riesigen frei fallenden Raum mit Objekten darin vor, der auf die Erde zurast. Die Objekte, die sich weiter oben im Raum befinden, entfernen sich im Laufe des freien Falls von jenen, die sich weiter unten befinden. Anders herum werden sich weit voneinander entfernte Körper, die sich in einem horizontal weit ausgedehnten Raum befinden, aufeinander zu bewegen.

Bei größeren Bezugssystemen treten sogenannte „Gezeitenkräfte“ auf. Der Gezeiteneffekt ruft auf der Erde die Gezeiten hervor, daher der Name. Die Gezeitenkraft ist deutlich geringer als die Gravitationskraft, sie entsteht immer dann, wenn an verschiedenen Stellen eines Objektes eine unterschiedlich starke Gravitationskraft wirkt. Wenn der frei fallende Raum also groß genug ist, kann ein sich darin befindender Beobachter sehr wohl feststellen, dass er sich in einem Gravitationsfeld befindet – anhand der Gezeitenkraft! Darum muss der Raum klein genug sein, damit der Gezeiteneffekt unterhalb der Messgrenze bleibt.

Könnt ihr euch noch an die Aussage der SRT erinnern, dass die Zeit in einem schnell bewegten Inertialsystem für den darin befindlichen Beobachter langsamer vergeht, als für einen Außenstehenden? In der ART gilt: Je stärker das Gravitationsfeld ist, in dem sich eine Uhr befindet, desto langsamer geht sie auch. Die Zeit vergeht für einen Beobachter im Tal also langsamer, als für einen Beobachter auf einer Bergspitze. Natürlich ist dieser Effekt im irdischen Gravitationsfeld sehr gering. Richtig deutlich wird er zum Beispiel im GPS-Satelliten-Navigationssystem.

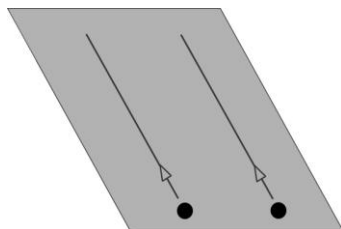
Stellt euch die Raumzeit auf zwei Dimensionen beschränkt als eine Art dehnbare Gummihaut vor, die in einen Rahmen gespannt ist. Sie bildet eine flache Oberfläche, welche die flache Raumzeit - ohne Anwesenheit von Masse – symbolisiert.



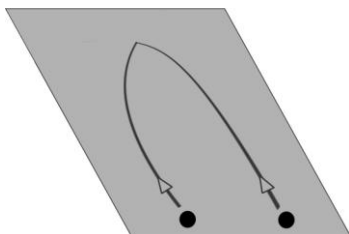
Legt ihr jetzt zum Beispiel eine Metallkugel auf diese Haut, wird sie gekrümmt – es entsteht eine Delle in der Raumzeit! Die Tiefe dieser Delle ist ein Maß für die Krümmung der Raumzeit.

Nun bewegen sich in der SRT Körper, auf die keine äußeren Kräfte einwirken, in der flachen Raumzeit auf geraden Bahnen entlang. In der ART bewegen sie sich im Allgemeinen nicht mehr auf Raumzeitgeraden, sondern auf den geradestmöglichen Raumzeitlinien, den sogenannten „Geodäten“. Sehen wir uns mal ein Beispiel an:

Stellt euch einen leeren Raum vor, in der Analogie als zweidimensionale Ebene dargestellt. Darin schweben zwei Teilchen, zwischen denen keine Kräfte wirken.

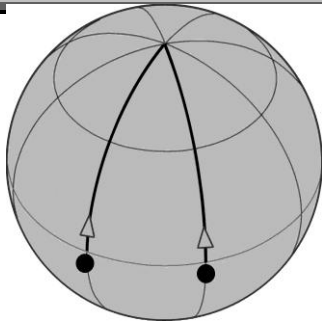


Wenn keine äußeren Kräfte wirken, bewegen sich die Körper mit konstanter Geschwindigkeit auf den geradestmöglichen Bahnen: auf Geraden. Wenn die Teilchen parallel verlaufen, werden sich ihre Bahnen nie schneiden.



Wenn die Teilchen nun von ihrem Verhalten abweichen, gibt es in der klassischen Physik die Erklärung: Hier wirkt eine Kraft auf mindestens eines der Teilchen, die es beschleunigt und so von seiner geradestmöglichen Bahn ablenkt, zum Beispiel so wie auf dem Bild links. Am Treffpunkt der Teilchen könnte sich eine Masse befinden, die beide Teilchen anzieht – mittels Gravitation.

Es könnte aber auch ganz anders sein...



Ebenso wäre es doch möglich, dass die Teilchen immer noch den geradestmöglichen Bahnen folgen, allerdings auf einer gekrümmten Fläche!

Ihre Bahnen konvergieren dann auch ohne Einwirkung äußerer Kräfte.

Dieses Beispiel findet ihr ganz logisch? Dann habt ihr soeben verstanden, wie Einstein die Gravitation erklärt!

Wenn in Anwesenheit von Masse die Raumzeit verzerrt wird, folgen Teilchen noch immer den geradestmöglichen Bahnen. Aufgrund der Raumzeitkrümmung werden sie aber – sogar auf den geradestmöglichen Bahnen – relativ zueinander beschleunigt! Das wirkt dann so, als stünden sie unter dem Einfluss der Gravitationskraft nach Newton!

Habt ihr eine Idee, wie man diese Erklärung für unser Planetensystem heranziehen könnte? Warum zum Beispiel könnten unsere Erde um die Sonne und der Mond um die Erde kreisen?



SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Lernwerkstatt: Die allgemeine Relativitätstheorie - einfach erklärt

Das komplette Material finden Sie hier:

School-Scout.de

