

Spezielle Relativitätstheorie

1905 veröffentlichte Albert Einstein seine spezielle Relativitätstheorie. Seine Annahme: In jedem Inertialsystem sind die Gesetze der Physik dieselben. Man kann also durch Experimente nicht entscheiden, ob man sich bewegt. Daraus folgt aus den Maxwellgleichungen, dass die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum für jeden gleichförmigen Beobachter konstant ist. Aus dieser Annahme hat Einstein dann mit etwas Mathematik weitreichende Folgerungen für Raum und Zeit gezogen.

Spezielle Relativitätstheorie

- ▶ Die Zeit in bewegten Bezugssystemen verläuft langsamer, und zwar um den Faktor

$$\gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

- ▶ Die Länge in Bewegungsrichtung ist verkürzt.
- ▶ Die Masse nimmt mit der Geschwindigkeit zu.
- ▶ Es gilt $E = mc^2$.

Probleme

Einstein war sehr schnell klar, dass die Newtonsche Theorie der Gravitation mit seiner Relativitätstheorie nicht vereinbar war. In der Formel für die Anziehungskraft zweier Massen

$$F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

kommt die Zeit nicht vor: Würde man die Sonne entfernen, wären die Auswirkungen auf die Erde *sofort* spürbar, während die Übertragung von Information nach Einstein höchstens mit Lichtgeschwindigkeit geschehen kann.

Allgemeine Relativitätstheorie

Einsteins Grundannahme bei der Entwicklung einer Theorie der Schwerkraft, die mit der speziellen Relativitätstheorie vereinbar ist, war das Äquivalenzprinzip:

Man kann durch ein Experiment nicht unterscheiden, ob man sich in einem gleichförmig beschleunigten Bezugssystem oder in einem Schwerkraftfeld befindet.

Ein Experiment im Schwerefeld der Erde liefert also dasselbe Ergebnis wie das Experiment in einer Rakete mit der Beschleunigung g .

Allgemeine Relativitätstheorie

Einstein hat bis 1916 gebraucht, um seine allgemeine Relativitätstheorie fertigzustellen. Sie benutzt anspruchsvolle Mathematik (Differentialgeometrie: Bewegung in gekrümmten höherdimensionalen Räumen), aber die grundlegende Idee ist einfach.

Masse krümmt die Raumzeit; die gekrümmte Raumzeit legt fest, auf welchen Bahnen sich Massen bewegen.

Allgemeine Relativitätstheorie

Die allgemeine Relativitätstheorie liefert in erster Näherung die Newtonsche Theorie: Wenn man die Krümmung des Raums vernachlässigt, also „nur die Zeit gekrümmt ist“, erhält man die Newtonschen Gleichungen zurück. Solange die Schwerkraft nicht sehr groß und die Geschwindigkeiten klein sind, ist die Newtonsche Theorie eine gute Näherung.

Einstein selbst hat 1916 drei Experimente beschrieben, mit denen sich ein Unterschied zur Newtonschen Theorie messen lässt.

Allgemeine Relativitätstheorie

1. Periheldrehung des Merkur

Der Einfluss der Planeten auf die Ellipsenbahn des Merkur führt nach Newton zu einer Drehung der Halbachse um $531''$ pro Jahrhundert. Le Verrier hat 1859 erkannt, dass die tatsächliche Drehung der Halbachse um etwa $38''$ (heute $43''$) von der vorhergesagten abweicht. Einsteins Rechnungen haben diese Abweichung mit Hilfe der allgemeinen Relativitätstheorie erklären können.

Allgemeine Relativitätstheorie

2. Ablenkung des Lichts durch die Sonne

Während einer totalen Sonnenfinsternis kann man die Sterne in der Nähe der Sonne sehen. Vergleicht man die Aufnahmen mit denjenigen ein halbes Jahr später, sind die Abweichungen nach der allgemeinen Relativitätstheorie doppelt so groß wie nach der Newtonschen Theorie. Diese Ablenkung hat Eddington 1919 gemessen, und dieser Erfolg hat Einstein weltberühmt gemacht.

Einsteinring

ART

Neutronensterne