Quarx

3. Marshmallows und Schwarze Löcher

5:00 Minuten

Inhalt: Schwarze Löcher, Gravitationskraft

Lernziele: Du lernst das Gravitationsgesetz kennen.

Schwarze Löcher

Im Film fragt Bottom, was die dichtesten Dinge im Universum sind. Strange meint darauf, dass es Schwarze Löcher seien. Doch was ist ein Schwarzes Loch?

Wirft man einen Ball in die Luft, steigt dieser, abhängig von der Anfangsgeschwindigkeit, unterschiedlich weit hoch. Bewegungsenergie wird beim Hochwerfen in Lageenergie umgewandelt. Je grösser die Bewegungsenergie am Anfang, desto grösser ist auch die Lageenergie, wenn der Ball am höchsten Punkt angelangt ist.

Fällt ein hochgeworfener Ball immer zurück auf den Boden?

Nein! Würde man den Ball mit einer Geschwindigkeit von 11,2 km/s hochwerfen, so hätte er genügend Energie, um die Erde zu verlassen und in den Weltraum zu gelangen. Diese Geschwindigkeit nennt man Fluchtgeschwindigkeit. Wenn der Ball hochsteigt, muss er gegen die Anziehungskraft der Erde kämpfen. Hätte die Erde eine grössere Masse, würde sie den Ball stärker anziehen und der Ball bräuchte eine noch grössere Fluchtgeschwindigkeit, um den Planeten zu verlassen. Um die Sonne zu verlassen, wäre beispielsweise eine Geschwindigkeit von 617,3 km/s notwendig (siehe Abbildung 1).

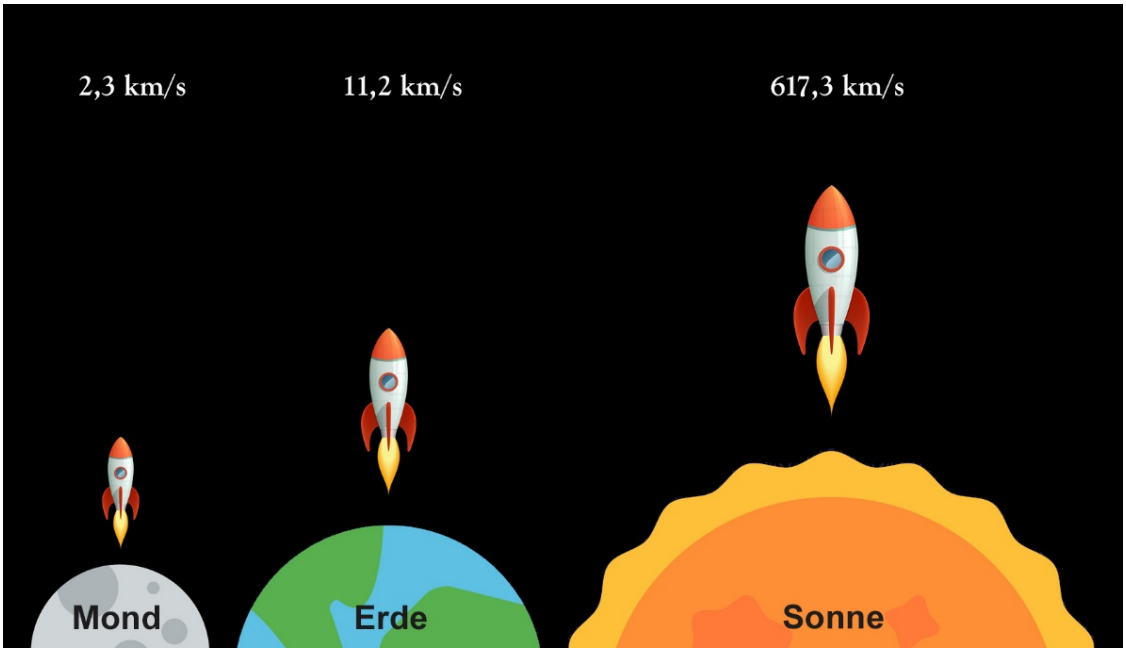

Abbildung 1. Die Fluchtgeschwindigkeit ist von der Masse des Himmelskörpers abhängig.
(Bildquelle: SRF mySchool, Colourbox)

Die grösstmögliche Geschwindigkeit ist die Lichtgeschwindigkeit.

Was wäre, wenn die Erde eine so grosse Masse hätte, dass die Fluchtgeschwindigkeit grösser als die Lichtgeschwindigkeit sein müsste? Dies würde bedeuten, dass nichts von der Erde entkommen könnte, da die Lichtgeschwindigkeit die grösstmögliche Geschwindigkeit ist. Ein Schwarzes Loch hat genau diese Eigenschaften.

Das der Erde am nächsten gelegene Schwarze Loch ist rund 3500 Lichtjahre entfernt (Wissensstand 2015). Das bis jetzt grösste entdeckte Schwarze Loch im Universum heisst «S5 0014+81», ist rund 12,1 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt und hat eine Masse von etwa 40 Milliarden Sonnen (Wissensstand 2015).

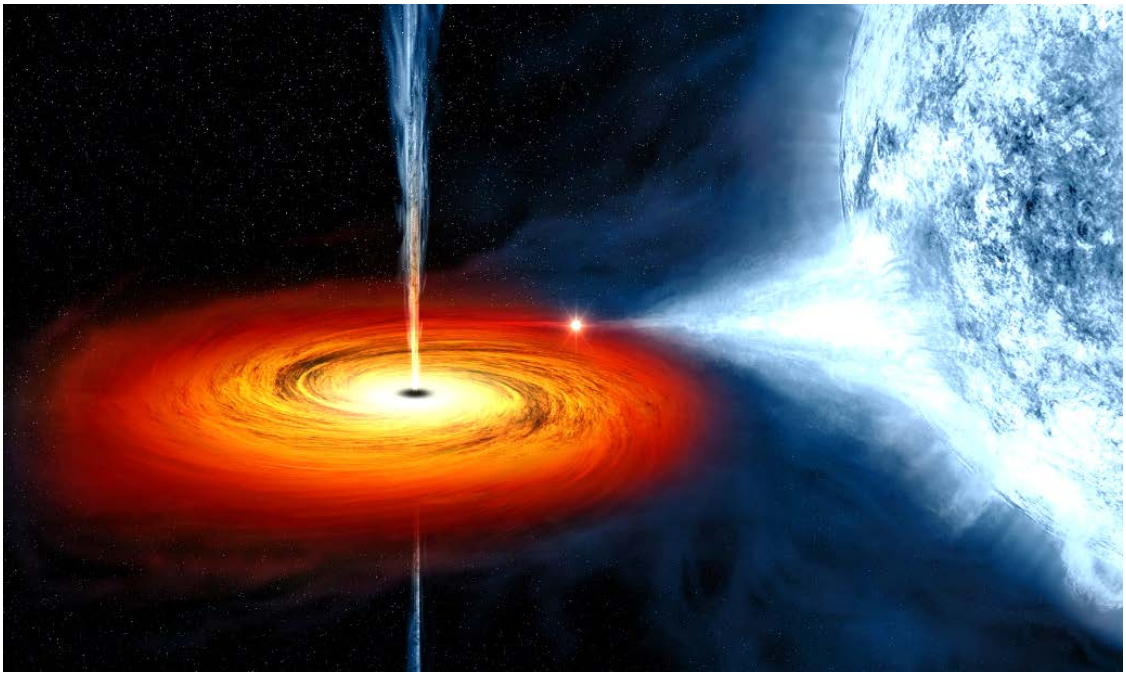

Abbildung 2. Künstlerische Darstellung eines Schwarzen Loches, das Materie eines benachbarten Sternes einsaugt.
(Bildquelle: NASA/CXC/M.Weiss)

Wie gefährlich ist ein Schwarzes Loch?

Charm und Bottom komprimieren im Film den Planeten Mars zu einem Schwarzen Loch. Dieses verschlingt seine ganze Umgebung und die Angelegenheit gerät ausser Kontrolle. Was würde passieren, wenn ein Schwarzes Loch neben dir auftauchen würde? Da gibt es zwei verschiedene Möglichkeiten:

1. **Instabiles Schwarzes Loch:** Nehmen wir zuerst das zum Schwarzen Loch mutierte Marshmallow. Es ist zu klein, um als Schwarzes Loch zu bestehen. Physiker gehen davon aus, dass solch kleine Schwarzen Löcher zerfallen und sich die Masse in Strahlung (zum Beispiel Wärme, Licht und Röntgenstrahlung) umwandelt. Einstein hat in seiner berühmten Formel $E=mc^2$ angegeben, wie viel Energie frei wird, wenn Materie in Energie umgewandelt wird. Zerstrahlt ein Marshmallow, wäre die Energie ungefähr so gross, wie im Zweiten Weltkrieg durch die Atombomben von Hiroshima und Nagasaki frei gesetzt wurde. Ohne Superkräfte wären deine Überlebenschancen also schlecht, wenn ein unstabiles Schwarzes Loch neben dir auftauchen würde.

2. **Stabiles Schwarzes Loch:** Nehmen wir als Beispiel ein Schwarzes Loch mit der Masse der Erde. Da Schwarze Löcher sehr dicht sind, hätte es gerade mal einen Radius von ca. 1 cm. Würdest du das Schwarze Loch mit der Hand berühren, würden unglaubliche Kräfte auf dich wirken. Lass uns dazu einen Vergleich mit einem Autounfall anstellen. Eine Kraft von 100 kN wirkt auf einen Fahrer, der mit 100 km/h in eine Wand fährt. Ein Unfall mit dieser Geschwindigkeit endet meistens tödlich. Streckst du nun deine Hand zum Schwarzen Loch aus, so wirkt auf deinen Kopf eine Kraft, die eine Milliarde Mal grösser ist während dem Autounfall. Die auf deine Hand wirkende Kraft ist nochmals 10 000 Mal grösser. Hättest du keine Superkräfte, würdest du förmlich auseinander gerissen.

Schwarze Löcher, ob stabil oder instabil, sind also grundsätzlich sehr gefährlich und zerstörerisch.

Die Gravitationskraft

Im Film verschlingt das Schwarze Loch Bäume, Häuser und sogar Berge und ganze Länder. Dafür ist die Gravitation verantwortlich. Was versteht man darunter?

Zwischen allen Körpern treten Anziehungskräfte auf. Diese Anziehungskraft wird auch Gravitationskraft genannt. Im Allgemeinen ist sie sehr klein. Da sie von der Masse der beteiligten Körper abhängt, ist sie nur dann stark, wenn eine oder beide Massen gross sind. Ein Beispiel dafür ist die Anziehungskraft der Erde. Gegenstände (und natürlich auch du selbst) fühlen sich schwer an, weil die Erde sie anzieht. Diese Anziehungskraft ist für dich deshalb spürbar, weil die Erde eine grosse Masse hat. Im Unterschied dazu sind die Anziehungskräfte zwischen dir und einem Apfel sehr klein, weil beide eine geringe Masse haben.

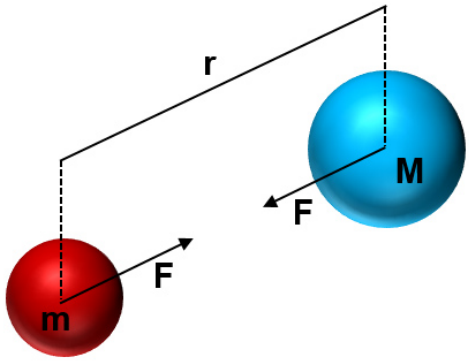

Abbildung 3. Zwei Körper ziehen sich gegenseitig an. (Bildquelle: SRF mySchool)

Die Gravitationskraft (Symbol F) hängt nicht nur von den Massen (Symbol M und m), sondern auch vom Abstand der Körper (Symbol r) zueinander ab. Je näher sich die anziehenden Körper befinden, desto grösser ist die Gravitationskraft zwischen ihnen.

Isaac Newton hat als Erster das Prinzip der Gravitationskraft erkannt und konnte im Jahre 1687 für diese bereits eine Formel angeben:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

Es dauerte mehr als hundert Jahre bis die Gravitationskonstante G bestimmt werden konnte. Henry Cavendish fand 1797 heraus, dass diese Konstante sehr klein ist: Zwei Körper mit je einer Masse von 1 kg ziehen sich im Abstand von 1 m nur mit einer Kraft von $F = 6.7 \times 10^{-11}$ N an.

Stell dir vor, dass du auf der Erdoberfläche stehst. Du bist 6000 km vom Mittelpunkt der Erde entfernt. Auf dich wirkt die normale Erdanziehungskraft. Stell dir nun vor, die Erde unter deinen Füssen wird zu einem Schwarzen Loch. Sie hat nur noch einen Radius von 1 cm und du schwebst in 6000 km Entfernung vom Schwarzen Loch. Die Anziehungskraft des Schwarzen Loches ist in diesem Fall immer noch gleich gross wie die Anziehungskraft der Erde. Halbierst du deinen Abstand zum Schwarzen Loch, so wird die Anziehungskraft 4 Mal grösser. Bist du nur noch 1000 km vom Schwarzen Loch entfernt, ist die Anziehungskraft schon 36 Mal so gross wie die Anziehungskraft auf der Erdoberfläche.