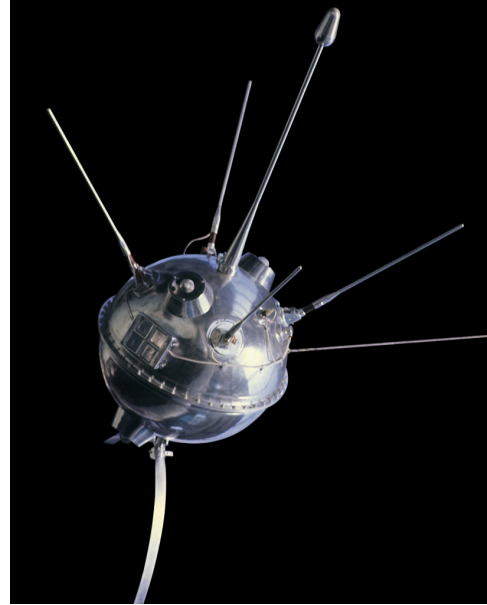


# Kosmologie: Gravitationswellen

## 1 Informationsbeschaffung

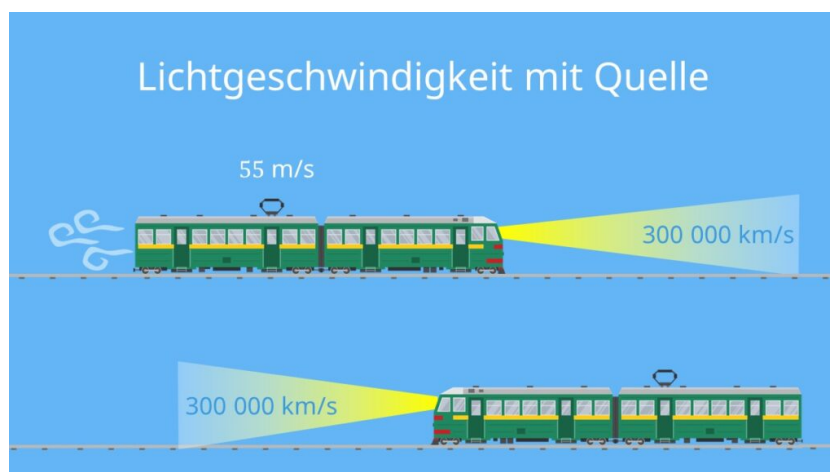
In der Astronomie haben wir nur sehr begrenzte Mittel, um an die benötigten Informationen zu kommen. Noch bis weit ins \_\_\_\_\_ Jahrhundert hinein war \_\_\_\_\_ die einzige Methode, um etwas über das Universum herauszufinden. Im Jahr \_\_\_\_\_ startete mit «Luna 1» die erste menschengemachte Sonde und startete damit ein neues Zeitalter des Datensammelns vor Ort.



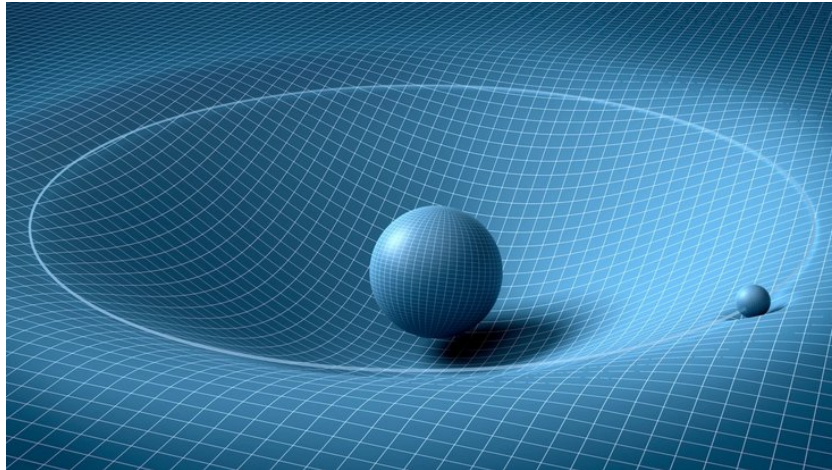
## 2 Theoretische Vorhersage

Einer der wichtigsten Grundsätze der speziellen Relativitätstheorie ist die Aussage, dass die Lichtgeschwindigkeit konstant ist: Egal mit welcher Geschwindigkeit man sich selbst bewegt, Lichtwellen breiten sich immer mit derselben Geschwindigkeit von  $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$  aus. Als \_\_\_\_\_ im Jahr \_\_\_\_\_ die allgemeine Relativitätstheorie als Erweiterung der speziellen veröffentlichte, waren Gravitationswellen als solche noch nicht darin enthalten. Aber schon im nächsten Jahr erwähnte Einstein die Existenz von Gravitationswellen als direkte Folge der Relativitätstheorie:

- Die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit heisst, dass sich keine \_\_\_\_\_ schneller als das Licht ausbreiten kann.



- Die Präsenz von Massen krümmt den Raum und überträgt somit Information.
- Daher muss automatisch gelten, dass sich das Gravitationsfeld einer Masse nur mit Lichtgeschwindigkeit verändern kann.
- Aus alledem kann man folgern, dass wenn sich Massen beschleunigt bewegen, man «Wellen aus Gravitation» erhält und somit theoretisch auch nachweisen könnte.

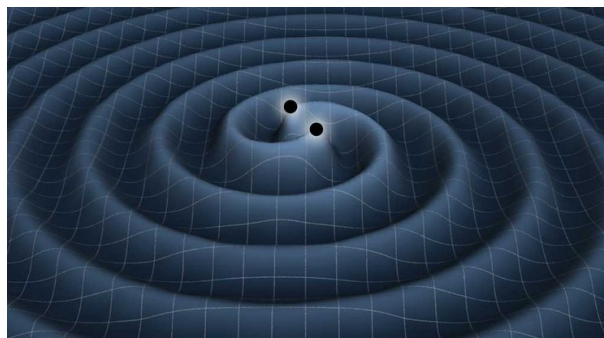


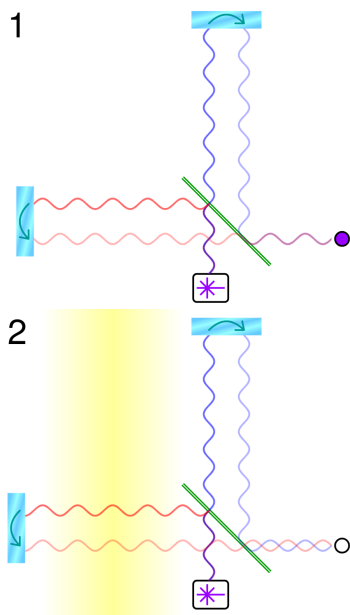
### 3 Entstehung

Gravitationswellen entstehen also immer, wenn Massen beschleunigt werden – also eigentlich ununterbrochen. Nur sind die meisten Gravitationswellen so schwach, dass sie weder messbar noch irgendwie sonst von Bedeutung sind. Dies gilt aber nicht für die schwersten und dichtesten Objekte in unserem Universum: \_\_\_\_\_ und \_\_\_\_\_. Fast alle Gravitationswellen-Quellen sind Verschmelzungen (sogenannte «Mergers») solcher massereicher, kompakter Objekte.

### 4 Experimenteller Nachweis

Obwohl Gravitationswellen schon im Jahr 1916 vorhergesagt wurden, war lange Zeit unklar, ob wir Gravitationswellen überhaupt beobachten können. Was hingegen ziemlich klar war, war die Methode, um die Raumzeitvibrationen zu messen: ein \_\_\_\_\_.





Das ist ein heutzutage sehr wichtiges Instrument, um diverse Dinge in der Physik sehr genau zu vermessen. Ein Laserstrahl wird in zwei geteilt und in zwei Arme geleitet, an deren Ende je ein Spiegel ist. Wieder zurück, wird der Laser wieder kombiniert. Da der Laser eine «kohärente» Quelle (alles Licht hat dieselbe «Phase», also alle Wellenberge und Täler laufen genau parallel) ist, interferiert das Licht am Detektor: Wenn die beiden Arme genau gleich lang sind, treffen Wellenberge wieder auf Wellenberge und -täler wieder auf -täler und es gibt sogenannte konstruktive Interferenz. Wenn sich die Arme um eine halbe Wellenlänge unterscheiden, dann treffen Wellenberge auf -täler und löschen sich aus: destruktive Interferenz.

Die Anwendung mit Gravitationswellen verlässt sich darauf, dass die beiden Arme unterschiedlich gestreckt und/oder gestaucht werden, und man somit die Frequenz feststellen kann. Zusätzlich hofft man auch auf Daten von anderen Interferometern, sodass man mit dem

\_\_\_\_\_ und/oder dem Verhältnis der Armlängen-Veränderungen auch die Herkunftsrichtung des Ereignisses feststellen kann.

Das Instrument, mit dem im September 2015 die ersten Gravitationswellen gemessen wurden (die Veröffentlichung der Ergebnisse war 2016, also genau hundert Jahre nach der theoretischen Vorhersage), heisst «Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory», oder kurz \_\_\_\_\_ und steht in den USA in Hanford und Livingston. Ein paar Daten:

- Armlänge: \_\_\_\_\_
- Wellenlänge Laser: \_\_\_\_\_ nm  $\approx$  \_\_\_\_\_  $\mu$ m = \_\_\_\_\_ m
- Frequenz detektierbare Gravitationswellen: \_\_\_\_\_ Hz – \_\_\_\_\_ kHz

### The Gravitational Wave Spectrum

