

LIGO Analogie-Experiment

Im September 2015 wurde von den Detektoren des LIGO-Observatoriums (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) die bereits von Einstein postulierten Gravitationswellen erstmals direkt nachgewiesen. Für diese bahnbrechende Entdeckung gab es 2017 schließlich den Nobelpreis für Physik für drei federführende LIGO-Wissenschaftler.

Obwohl das Observatorium einen der komplexesten wissenschaftlichen Aufbauten der Welt darstellt, basieren wesentliche Prinzipien auf sehr bekannten physikalischen Messmethoden, die in Praktika an der Universität gelehrt werden. So basiert der ganze Aufbau im Wesentlichen auf einem großen Michelson-Interferometer, in dessen Armen Fabry-Perot-Kavitäten integriert sind. Die Gravitationswellen, die Störungen in der Raumzeit darstellen, führen zu Längenänderungen in den Armen, die mit einem Detektor am Interferometer-Ausgang gemessen werden.

Unser Analogie-Experiment besteht aus einem labortypischen Michelson-Interferometer mit integrierter Fabry-Perot-Kavität und verfahrbaren Endspiegeln, an dessen Ausgang sich eine Fotodiode befindet, die Armlängenänderungen über Helligkeitsschwankungen messbar macht. Schallwellen, die in den Aufbau eingestrahlt werden, symbolisieren die Gravitationswellen. Die Fotodiode ist an ein Oszilloskop mit FFT-Funktion angeschlossen, sodass die Schallsignale genauer analysiert werden können.

Folgende Aspekte werden im Versuch in unserem Praktikum behandelt:

- Aufbau, Justierung und Charakterisierung des Interferometersystems
- Einfluss der gemessenen Signalempfindlichkeit in Abhängigkeit von der Justierung von Michelson-Interferometer und Kavität relativ zueinander und Vergleich mit der Operationsweise von LIGO
- Diskussion der Rauschkomponenten und der frequenzabhängigen Empfindlichkeit des Aufbaus (z.B. Detektion eines auf Audiofrequenzen verlangsamten „Chirp“-Signals aus dem öffentlichen LIGO-Datenarchiv): Diese Aspekte spielen auch bei LIGO eine wesentliche Rolle.
- Diskussion der grundlegenden physikalischen Unterschiede zwischen dem Analogie-Versuch und echter Gravitationswellen-Messung

Wir möchten mit diesem Versuch einen anschaulichen Einblick in die grundlegende Funktionsweise von LIGO geben. Darüber hinaus wird den Studierenden nach Durchführung der Laborversuche gleichzeitig eindrucksvoll klar, wie extrem schwierig letztlich die Messung der winzigen Signale von Gravitationswellen ist.

D. Ugolini, H. Rafferty, M. Winter, C. Rockstuhl, A. Bergmann: *LIGO analogy lab—A set of undergraduate lab experiments to demonstrate some principles of gravitational wave detection*, Am. J. Phys. 87 (1), Januar 2019