

Gravitationswellen

Erik Müller

Physikalisches Proseminar, 26.04.2023

- 1 Allgemeine Relativitätstheorie
- 2 Gravitationswellen
- 3 Detektion
- 4 Nutzung
- 5 Quellen

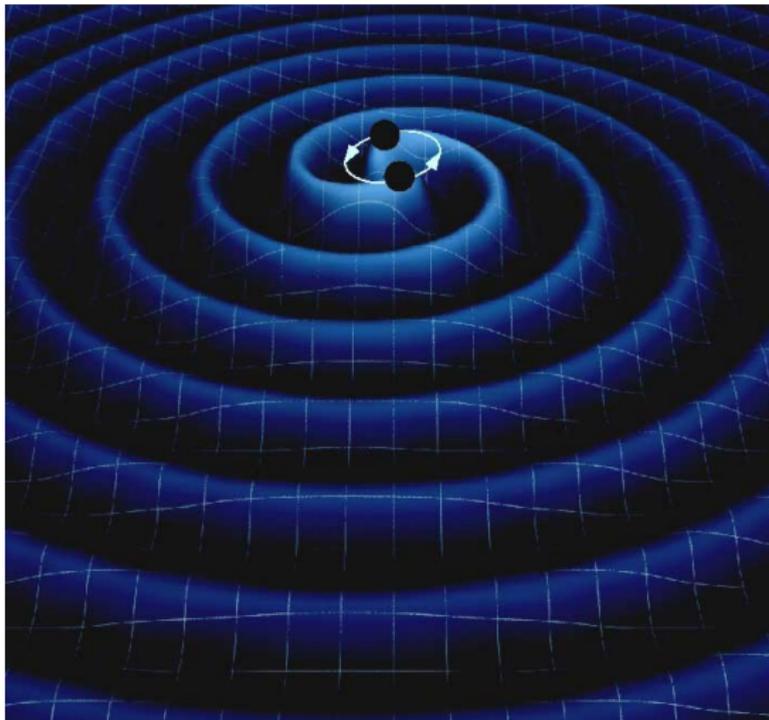
- Gravitation wird durch Einsteinsche Feldgleichungen beschrieben
- Meist nur Näherungslösungen, z.B. für kleine Amplituden
- Erschwert Vorhersage der Gravitationswellen nahe des Entstehungsortes

Gravitationswellen - Entstehung

- Generell: durch beschleunigte Massen
- **Messbare** Gravitationswellen:
 - sich schnell umkreisende Objekte
 - sich schnell drehende, nicht rotationssymmetrische Objekte
 - schnell und nicht kugelsymmetrisch expandierende/kollabierende Objekte

| Signal | modelliert | unmodelliert |
|----------------|---------------------------------|----------------------|
| kontinuierlich | Pulsar | Hintergrundstrahlung |
| transient | Verschmelzung kompakter Objekte | Supernova |

Gravitationswellen - Entstehung



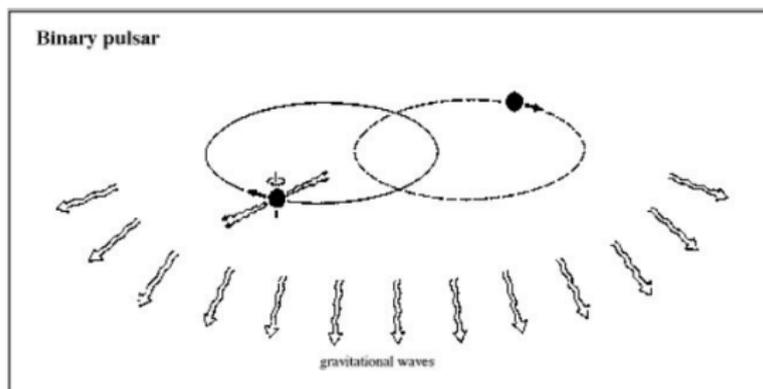
Detektion - Erste Versuche

Der Resonanzdetektor

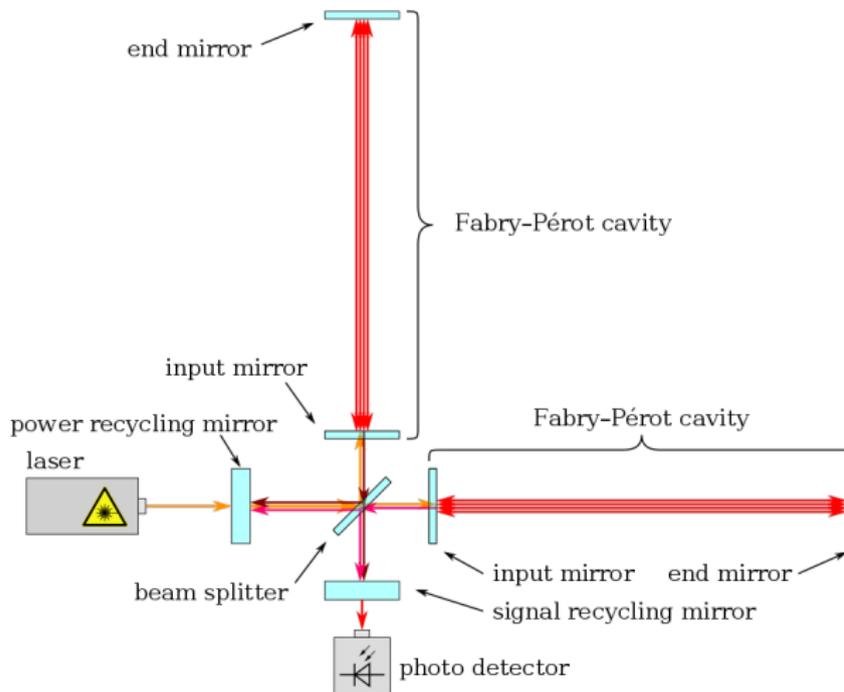
- 1-2m langer Aluminiumzylinder
- Längenänderung wird mittels Piezokristallen gemessen
- begrenzt durch thermisches Rauschen, also um 10^{-16}
- Messung nur nahe der Resonanzfrequenz des Zylinders möglich

Indirekter Nachweis

- Doppelpulsarsystem mit Umlaufzeit von circa 8 Stunden
- Umlaufzeit sinkt um $75\mu\text{s}$ pro Jahr
- Entsprechender Energieverlust weicht **nur 0.5%** vom Theoriewert ab

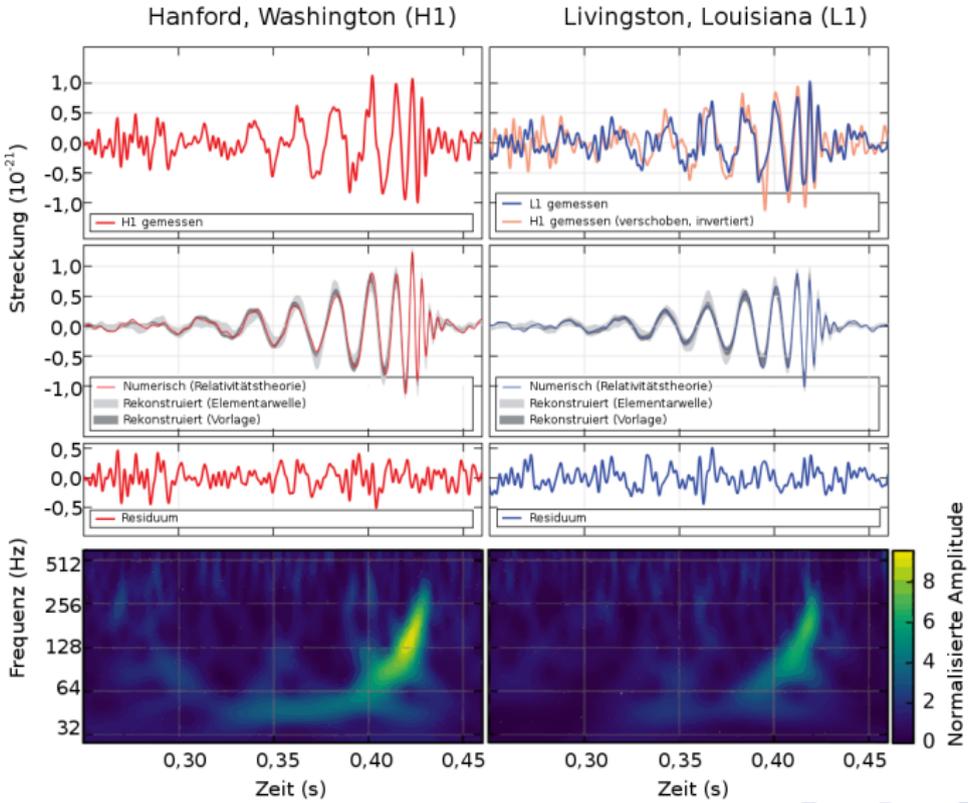


Michelson-Interferometer



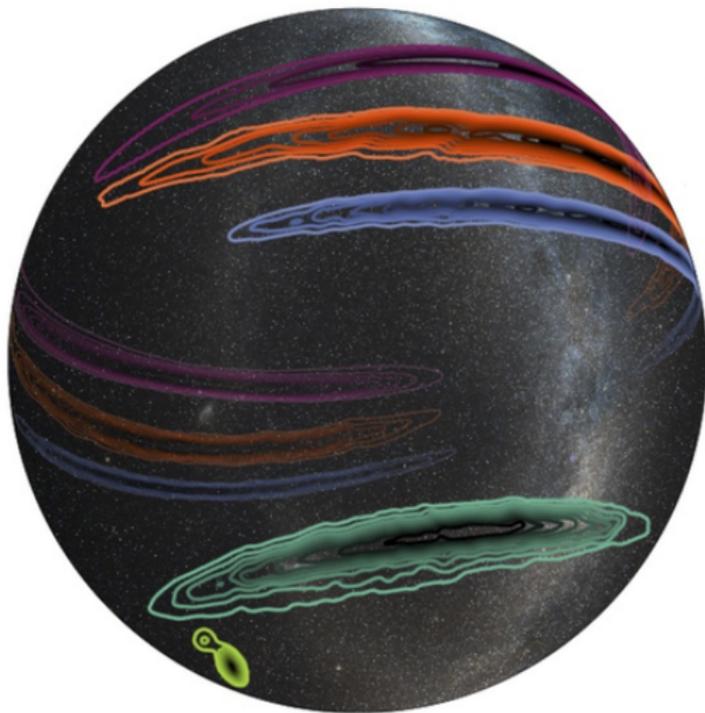
- 1999: Bauende
- 2002: erste wissenschaftliche Messung
- 14.9.2015: erster direkter Nachweis
- August 2017: erster Nachweis mit drei Detektoren

- in Hanford und Livingston; 3000km voneinander entfernt
- Armlänge 4km bzw. 2km; 280 mal durchlaufen
- power-recycling mirror; Laserleistung von 200W auf 700kW
- Genauigkeit in der Amplitude bis $10^{-22}m$



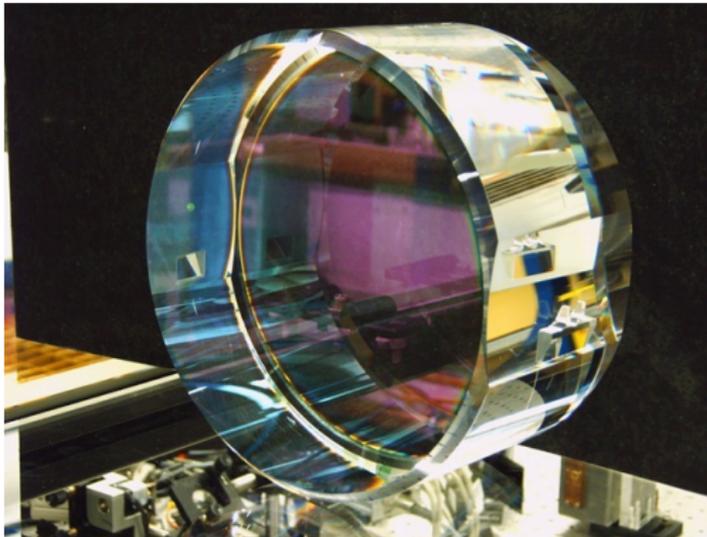
Messung mit drei Detektoren erlaubt:

- genauere Richtungsbestimmung
- Messung der Polarisierung (**Tensor**, Vektor, Skalar)



weitere Detektoren

- GEO600, Hannover
vorwiegend für Entwicklung genutzt
- erst TAMA300, seit 2020 KAGRA; Japan
erster Detektor mit Kryotechnik
Genauigkeit in der Amplitude bis $3 * 10^{-24} m$



Einsteinteleoskop

noch in Planung

- Drei 10km lange, unterirdische Arme
- Für unterschiedliche Frequenzen optimierte Detektoren
- Kühlung optischer Elemente auf 10K für Niederfrequenzmessungen
- Höhere Laserleistung für Hochfrequenzmessungen

- Projekt der ESA, Start voraussichtlich 2037
- Drei Satelliten bilden Dreieck mit Seitenlänge von 2,5 Mio. Kilometer
- Messung zwischen 0,1 mHz und 1 Hz
- Möglicher Nachweis von vom Urknall stammenden Wellen

- Analyse der Gravitationswellen-Hintergrundstrahlung:
Verständnis des Entstehungsprozesses Schwarzer Löcher sowie Rückschlüsse auf Urknall
- Positionsbestimmung bestimmter Ereignisse:
bspw. Teleskope oder andere Detektoren können entsprechend ausgerichtet werden
- Dunkle Materie wechselwirkt gravitativ

- www.nobelprize.org/prizes/physics/1993/press-release/
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Gravitationswelle>
- physics.aps.org/articles/v16/s26
- physics.aps.org/articles/v10/110

Gibt es noch Fragen?