



Doctoral Thesis

Gravitational interaction studies

Author(s):

Walker, William D.

Publication Date:

1997

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001856497> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 12289

Gravitational Interaction Studies

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH
for the degree of
Doctor of Natural Sciences

presented by
William D. Walker
Physics BS and MS San Jose State University, Calif., USA
born 30 September 1959
Citizen of USA

Accepted on the recommendation of
Prof. Dr. J. Dual, examiner
Prof. Dr. W. Kündig, co-examiner

Zürich 1997

Abstract

The purpose of this dissertation has been to construct an experimental system capable of transmitting and receiving gravitationally induced vibrations in a laboratory environment. The system is to be used in the future to study the physical nature of gravitational interaction. Two experimental systems have been theoretically analysed, constructed, and tested. The first system uses longitudinal rod vibrations to transmit and detect the gravitationally induced vibrations. The system has been constructed and tested, but no gravitationally induced vibrations have been detected. Theoretical analysis of the longitudinal system indicates that the laser interferometer used is not capable of detecting the 5×10^{-17} m gravitationally induced vibrations. A second improved experimental system has been constructed and tested which employs bending beams to transmit and detect the gravitationally induced vibrations. Nanometer gravitationally induced vibrations are observed with this system. These vibrations correspond to theoretical expectations, and are 4 orders of magnitude larger than previously published systems.

During the development of these systems, several important technologies were developed. A 100 nanodegree phase and 5 nanovolt differential amplitude measurement technique using a commercial lock-in amplifier has been developed and tested. This technology promises to improve the sensitivity of various sensors which are currently based on conventional 1-100 millidegree phase and 10-1000 microvolt differential amplitude measurement technologies. A self-oscillating mechanical oscillator has been developed and tested. A capacitor sensor has been constructed and tests indicate that it is capable of 1.8×10^{-15} m/SqrtHz sensitivity at 42 Hz vibration. This is to be compared to the laser interferometer used in the gravitational experiment which has a sensitivity of 2.5×10^{-9} m/SqrtHz at 42 Hz vibration.

In addition to the development of the above-mentioned technologies, a theoretical study was performed to determine the possibility of using these technologies to measure the near-field phase speed of an oscillating electric field and an oscillating gravitational

field, along the axis of vibration. The proposed experiment would have entailed mechanically vibrating a charge or a mass and monitoring the resultant oscillating field along the axis of vibration. By changing the distance from the source, a phase shift in the observed field would have resulted due to the finite phase speed of the field. Relativistic models are presented which indicate that the near-field phase speed of an oscillating electric field and an oscillating gravitational field, along the axis of vibration, is much larger than the speed of light. It is concluded that only fields phase-shifted by an order of 10^{-13} degree or smaller can be generated with a laboratory experiment. This phase shift is too small to be measured with the phase measurement technology presented in this dissertation, which is presently capable of 10^{-7} degree phase sensitivity.

Zusammenfassung

Zweck der vorliegenden Arbeit war die Konstruktion eines Systems zur Übertragung von durch Gravitation induzierten Schwingungen in einem Labor. Dieses System soll in Zukunft dazu dienen, die physikalischen Grundlagen einer solchen Interaktion zu untersuchen. Zwei Versuchssysteme wurden theoretisch analysiert, konstruiert und getestet. Das erste dieser Systeme benützt Longitudinalschwingungen eines Stabes, um Gravitationswellen auszusenden und zu empfangen. Es war jedoch keine Interaktion durch Gravitation festzustellen. Die Theorie ergab, dass das zur Schwingungsmessung verwendete Laserinterferometer nicht in der Lage ist, die induzierten Schwingungen mit Amplituden von 5×10^{-17} m zu messen. Beim zweiten, verbesserten System, das aufgebaut wurde, geschieht die Übertragung der Gravitationswellen mittels Stäben, die in Biegeschwingung versetzt werden. Damit konnten, in Einklang mit theoretischen Analysen, induzierte Schwingungen mit Amplituden im Nanometerbereich festgestellt werden. Dies ist 10^4 mal mehr als in bisher veröffentlichten Experimenten erreicht wurde.

Im Verlaufe der Ausarbeitung dieses Systems sind mehrere wichtige Verfahren entwickelt worden. Ein System wurde entwickelt und getestet, welches die Messung von Phasendifferenzen bis zu 100 Nanograd und Amplitudendifferenzen bis 5 Nanovolt mit Hilfe eines kommerziellen Lock-in Verstärkers erlaubt. Davon darf man sich auch eine Verbesserung verschiedener Sensorprinzipien versprechen, die momentan unter Einsatz von konventionellen Phasenmessmethoden mit Auflösungen von 1-100 Milligrad und Amplitudendifferenzmessverfahren mit Auflösungen im Bereich 10-1000 Mikrovolt verwendet werden. Ein selbsterregter mechanischer Oszillator wurde gebaut und getestet, ebenso ein kapazitiver Sensor. Experimente zeigen, dass letzterer eine Empfindlichkeit von 1.8×10^{-15} m/SqrtHz bei 42 Hz erreicht. Zum Vergleich liegt die Empfindlichkeit des Laserinterferometers bei derselben Frequenz um 2.5×10^{-9} m/SqrtHz.

Während der Entwicklung dieser Technologien wurde eine theoretische Studie durchgeführt, um die Möglichkeit, mit Hilfe dieser Technologien die Nahfeld-Phasengeschwindigkeit eines oszillierenden elektrischen Feldes und eines oszillierenden

Gravitationsfeldes in Richtung der Vibrationsachse zu messen. Das vorgeschlagene Experiment würde darin bestehen, eine Ladung oder eine Masse vibrieren zu lassen und das resultierende Schwingungsfeld entlang der Schwingungsachse zu beobachten. Durch das Verändern der Distanz von der Quelle würde eine Phasenverschiebung im beobachteten Feld aus der endlichen Phasengeschwindigkeit des Feldes resultieren. Relativistische Modelle werden vorgestellt, welche zeigen, dass die Nahfeld-Phasengeschwindigkeit des oszillierenden elektrischen Feldes und des oszillierenden Gravitationsfeldes entlang der Schwingungsachse viel grösser als die Lichtgeschwindigkeit ist. Es wird daraus geschlossen, dass nur Felder mit Phasenverschiebungen um 10^{-13} Grad oder kleiner in einem Laborexperiment generiert werden können. Diese Phasenverschiebung ist zu klein, als dass sie mit der in dieser Dissertation vorgestellten Phasenmesstechnik, welche zur Zeit eine Empfindlichkeit von 10^{-7} Grad erreicht, gemessen werden könnte.