

Q 35: Precision Measurements and Metrology IV

Time: Wednesday 16:30–19:00

Location: A 310

Q 35.1 We 16:30 A 310

FPGA basiertes, ultrapräzises RF Phasenmeter, als Konzeptstudie für den Gravitationswellendetektor LISA — ●MARKUS WUSSLER^{1,2}, FRANZISKA KITTELMANN^{1,3}, CLAUS BRAXMAIER^{1,2}, PETER GATH¹, MARTIN GOHLKE^{1,4}, ULRICH JOHANN¹, THILO SCHULDT^{2,4}, HANS-REINER SCHULTE¹, STEFFEN WAIMER^{1,5} und DENNIS WEISE¹ — ¹EADS Astrium GmbH — ²HTWG Konstanz — ³Fachhochschule Gelsenkirchen — ⁴Humboldt Universität zu Berlin — ⁵Hochschule Esslingen

Zur Durchführung der Weltraummission LISA (Laser Interferometer Space Antenna), einer Mission von ESA und NASA, mit dem Ziel Gravitationswellen nachzuweisen und zu messen, benötigt man ein ultrapräzises Phasenmeßsystem. Dieses vergleicht die Frequenz und die Phasenlage eines Mess-Lasers relativ zu einem Referenz-Laser. Durch Überlagerung der beiden Laser entsteht ein Schwebungssignal, welches digitalisiert wird. Phase und Frequenz des Signals werden mittels DPLL (Digital Phase Locked Loop), realisiert auf einem FPGA (Field Programmable Gate Array) Board, ermittelt und weiter verarbeitet. Der Eingangsfrequenzbereich reicht von 2 bis 19 MHz. Ziel der Messung ist es ein Rauschlevel von kleiner als 6 microrad/sqrt(Hz) innerhalb der LISA Messbandbreite (0,1MHz bis 1Hz) zu erreichen. Im Vortrag wird der Prototyp vorgestellt, bereits vorhandene Messungen gezeigt, sowie auf vorhandene Limitierungen eingegangen. Es zeigt sich, dass das Phasemeter die Performanceanforderung bereits in weiten Frequenzbereichen erfüllt.

Q 35.2 We 16:45 A 310

Bridging the gap between LISA phasemeter raw data and astrophysical data analysis — ●YAN WANG, GERHARD HEINZEL, and KARSTEN DANZMANN — AEI Hannover (Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik), Leibniz Universität Hannover

LISA (Laser Interferometer Space Antenna) is intend to measure gravitational waves by using laser interferometry over astronomical distances. The input astrophysical LISA data are the TDI variables, which are combinations of time shifted phasemeter data and spacecraft distances that roughly synchronized to a common timescale. In practice, these raw phasemeter data are contaminated by the free-running local clocks. In this talk, I would talk about how and to what extent we could make the phasemeter raw data qualified for TDI combinations.

Q 35.3 We 17:00 A 310

Optical Bench Development for LISA — ●DENNIS WEISE¹, DAVID ROBERTSON², HENRY WARD², MICHAEL TRÖBS³, GERHARD HEINZEL³, KARSTEN DANZMANN³, JOEP PIJNENBURG⁴, HARM HOGENHUIS⁴, and LUIGI D'ARCIÒ⁵ — ¹Astrium GmbH — ²Glasgow University — ³Albert-Einstein Institute — ⁴TNO Science and Industry — ⁵ESA/ESTEC

Under ESA contract, a team of Astrium GmbH as prime contractor, the University of Glasgow, the Albert-Einstein Institute, and TNO is developing an Elegant Breadboard of the Optical Bench for the future Laser Interferometer Space Antenna (LISA) Mission. For detection and characterization of gravitational waves between 3×10^{-5} and 1 Hz, LISA will be implemented in a triangular constellation of 3 identical spacecraft, linked by heterodyne laser interferometry in an active transponder scheme over a 5 million kilometer distance. For each laser link, the Optical Bench realizes both remote and local beam metrology with respect to inertial proof masses inside the spacecraft, as well as various ancillary functions such as point-ahead correction, acquisition sensing, transmit beam conditioning, laser redundancy switching, etc.

The purpose of this project is a comprehensive demonstration of the Optical Bench functions, including in particular Nanoradian and Picometer optical metrology in the required degrees of freedom. We will give an overview of the development approach, the planned optical layout and design of the Optical Bench, the special equipment required for integration and verification, and introduce the pre-experiments used for prior validation of the technical concepts.

Q 35.4 We 17:15 A 310

Piezo-Tunable High Finesse Cavity for LISA — ●KATHARINA MÖHLE, KLAUS DÖRINGSHOFF, MORITZ NÄGEL, EVGENY V. KOVALCHUK, and ACHIM PETERS — Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Physik, AG Optische Metrologie, Hausvogteiplatz 5-7, 10117

Berlin

The interferometric read out of the space-borne gravitational wave detector LISA requires a high frequency stability of the employed Nd:YAG lasers. This should be achieved in three steps, including prestabilization to a Fabry-Perot cavity. The prestabilization has to feature a tunability of ± 30 MHz, in order to accommodate slow Doppler-shifts caused by yearly variation of the triangular satellite configuration.

Given the constraint of not using an optical modulator for offset locking, the first approach for a tunable prestabilization is to make the cavity itself tunable by adding a piezoelectric actuator. The frequency stability obtained with a commercial multilayer PZT piezo actuator is about $10 \text{ Hz}/\sqrt{\text{Hz}}$ above 0.1 Hz fulfilling the LISA requirements.

We will discuss how the actuator affects the mechanical stability of the cavity taking into account typical piezo material effects like hysteresis, creep and aging, but also other effects like thermal expansion and voltage noise. To demonstrate the feasibility of the integration within the LISA arm locking concept we included the piezo-cavity in an outer feedback loop. Thus the stability of an ultra stable reference cavity could be transferred to the piezo-cavity by stabilizing the cavity length (bandwidth 3 kHz).

Q 35.5 We 17:30 A 310

LISA Phasemeter Development: ADC-jitter correction — ●IOURI BYKOV, JOACHIM KULLMAN, BENJAMIN SHEARD, JUAN JOSE ESTEBAN, ANTONIO FRANCISCO GARCIA MARIN, GERHARD HEINZEL, and KARSTEN DANZMANN — Max-Planck Institut für Gravitationsphysik, Callinstr. 38, 30167 Hannover

The gravitational wave detector LISA (Laser Interferometer Space Antenna) aims to detect and observe in details gravitational waves from astronomical sources. One of the most important components of LISA is the Phase-Measurement System (PMS). We present the latest results of PMS development with emphasis on jitter-correction of Analog-to-Digital Converters (ADCs) used in phase measurements. The use of the presented jitter-correction techniques allows to meet LISA-requirements (noise performance) for PMS.

Q 35.6 We 17:45 A 310

Clock noise removal in the LISA mission — ●MARKUS OTTO, GERHARD HEINZEL, and KARSTEN DANZMANN — AEI Hannover (Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik), Leibniz Universität Hannover

The detection of gravitational waves with the Laser Interferometer Space Antenna (LISA) in the 0.1 mHz - 1 Hz band is mainly disturbed by the laser phase noise. By Time Delay Interferometry (TDI), it is possible to remove this disturbance while the gravitational wave signal remains unchanged. For this, prompt and time-delayed signals are combined in a suitable way.

However, to synthesize those data stream combinations, the analog interferometer signal has to be transformed to a digital signal by an Analog Digital Converter (ADC). The ADC is driven by an extremely accurate clock (ultra stable oscillator, USO). This clock has inherent noise and thus introduces clock noise into the data streams. In our talk we will give a short overview of the clock noise problem and then discuss some possible solutions to cancel out the clock noise.

Q 35.7 We 18:00 A 310

Der Advanced LIGO bow-tie Pre-Modecleaner — ●JAN HENDRIK PÖLD, BENNO WILLKE and KARSTEN DANZMANN — Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) und Institut für Gravitationsphysik, Leibniz Universität Hannover, Germany

Ein Pre-Modecleaner (PMC) ist ein optischer Resonator, der benutzt wird, um die Strahlqualität eines Lasers zu verbessern. Dabei spielen drei Filtereffekte dieses Resonators eine besondere Rolle. Da der PMC mit Hilfe des Pound-Drever-Hall Verfahrens resonant in der Grundmode gehalten wird, agiert er als Filter für Moden höherer Ordnung, die im einfallenden Laserstrahl enthalten sind. Des Weiteren werden Strahlgeflektuationen durch den PMC gefiltert und Schwankungen der Laserleistung bei Radiofrequenzen unterdrückt.

Im Gravitationswellendetektor Advanced LIGO wird für die Stabilisierung des Lasers ein PMC benötigt. In diesem Fall muss beim

Design zusätzlich die hohe Laserleistung berücksichtigt werden, durch die optische Komponenten beschädigt werden können, da das zirkulierende Feld im Resonator um ein vielfaches höher als die eingekoppelte Laserleistung ist.

In diesem Vortrag werden die Filtereffekte eines PMCs beschrieben und auf die Herausforderungen beim Design des Advanced LIGO PMCs eingegangen. Abschließend werden die Ergebnisse der Charakterisierung des stabilisierten Advanced LIGO Lasersystems vorgestellt.

Q 35.8 We 18:15 A 310

Leistungsstabilisierung des Advanced LIGO Lasers —

•CHRISTINA KRÄMER, PATRICK KWEE, BENNO WILLKE und KARSTEN DANZMANN — Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) und Institut für Gravitationsphysik der Leibniz Universität Hannover, Germany

Die Empfindlichkeit von interferometrischen Gravitationswellendetektoren skaliert sowohl mit der eingestrahlten Laserleistung als auch mit der Leistungsstabilität. Daher werden für die nächsten Generationen von Gravitationswellendetektoren Hochleistungslaser benötigt, die nur ein sehr geringes Leistungsrauschen aufweisen.

Bei dem Advanced LIGO Laser wird die erforderliche Leistungsstabilität mit Hilfe eines aktiven Regelkreises erreicht, der es ermöglicht das relative Leistungsrauschen bei 10 Hz auf $2 \cdot 10^{-9} \text{ Hz}^{-1/2}$ am Interferometer zu verringern. Die aktive Regelung besteht aus einer inneren und einer äußeren Regelschleife. Beide unterscheiden sich durch die Art und die Position des jeweiligen Detektors. Der innere Regelkreis stabilisiert die Leistung auf $10^{-8} \text{ Hz}^{-1/2}$ vor. Der äußere Regelkreis wird die erforderliche Stabilität von $2 \cdot 10^{-9} \text{ Hz}^{-1/2}$ im Gravitationswellendetektor ermöglichen.

Die Leistungsstabilisierung des Advanced LIGO Lasers mit Hilfe der inneren Regelschleife wird vorgestellt sowie das Konzept für den äußeren Regelkreis.

Q 35.9 We 18:30 A 310

Quasi-monolithic Interferometer for the Examination of the fundamental Non-reciprocity of a single-mode polarization maintaining Fiber for space Applications —

•ROLAND FLEDDERMANN, CHRISTIAN DIEKMANN, FRANK STEIER, MICHAEL TRÖBS, GERHARD HEINZEL und KARSTEN DANZMANN — Albert-Einstein-Institut

Hannover, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik und Universität Hannover, Callinstr. 38, 30167 Hannover

The Laser Interferometer Space Antenna (LISA) mission by ESA and NASA for the detection of gravitational waves in the frequency range from 0.1 mHz to 1 Hz requires optical fibers for the exchange of light between optical benches on satellites.

Reciprocal noise can be subtracted in this application, but non-reciprocal noise would limit the measurement sensitivity. Therefore, a quasi-monolithic, interferometric measurement setup was developed that is capable of measuring non-reciprocal phase variations with a sensitivity of $\approx 6 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ (corresponding to 1 pm/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1064 nm). The measurement principle of this setup resembles the actual application on board LISA. Using this setup a measurement noise between $4 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ and $400 \mu\text{rad}/\sqrt{\text{Hz}}$ ($\approx 0.6 - 60 \text{ pm}/\sqrt{\text{Hz}}$ at 1064 nm) was observed for frequencies ranging from 1 mHz to 1 Hz.

We give an overview over first results of the non-reciprocal fiber noise obtained using this setup and on investigations on the influence of external noise sources.

Q 35.10 We 18:45 A 310

Testing the optical bench of the Laser Interferometer

Space Antenna — •MICHAEL TRÖBS¹, CHRISTOPH BAUNE¹, JOHANNA BOGENSTAHL², LUIGI D'ARCIO³, MARINA DEHNE¹, CHRISTIAN DIEKMANN¹, EWAN FITZSIMONS², ROLAND FLEDDERMANN¹, GERHARD HEINZEL¹, CHRISTIAN KILLOW², MICHAEL PERREUR-LLOYD², DAVID ROBERTSON², DIRK SCHÜTTE¹, THOMAS SCHWARZE¹, MALTE VOGT¹, GUDRUN WANNER¹, HENRY WARD², DENNIS WEISE⁴, and KARSTEN DANZMANN¹ — ¹AEI Hannover — ²Glasgow University — ³European Space Agency — ⁴Astrium GmbH

The space-based gravitational-wave detector Laser Interferometer Space Antenna (LISA) shall detect gravitational-waves by measuring distance changes between its three satellites with interferometers.

Currently, the first prototype of the so-called optical bench, that contains the interferometric setups for the lengths measurements of LISA, is being built for the European Space Agency (ESA). This optical bench will be tested at the Albert-Einstein-Institute and its functionality and sensitivity will be characterised. For this purpose, special tools and pre-experiments are necessary, that will be discussed in this talk.