

## Q 24: Präzisionsmessungen II

Zeit: Dienstag 16:30–19:00

Raum: Audi-A

Q 24.1 Di 16:30 Audi-A

**Laserinterferometer für eine satellitengestützte Aufzeichnung des Erdgravitationsfeldes** — ●MARINA DEHNE, FELIPE GUZMÁN CERVANTES, GERHARD HEINZEL und KARSTEN DANZMANN — Albert-Einstein-Institut Hannover, Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik und Leibniz Universität Hannover, Callinstr. 38, D-30167 Hannover

Eine derzeitige Mission zur Erfassung des Gravitationsfeldes der Erde ist das *Gravity Recovery and Climate Experiment* (GRACE). Das Ziel einer zukünftigen GRACE Nachfolgemission wird es sein, das Erdgravitationsfeld mit einer höheren Auflösung über einen Zeitraum von mindestens 6 Jahren aufzunehmen.

Ein möglicher Detektor für diesen Zweck besteht aus zwei identischen Satelliten, die Testmassen in einem Low-Earth Orbit in etwa 300 km Höhe ohne äußere Einflüsse tragen. Diese beiden mit einem Abstand in der Größenordnung von 10 bis 100 km hintereinander fliegenden Satelliten reagieren empfindlich auf kleinste Änderungen in der Gravitationsbeschleunigung. Die resultierenden Längenänderungen zwischen den beiden Testmassen sollen im Frequenzbereich von 1 bis 100 mHz von einem Laser-Interferometer mit Nanometer-Präzision beobachtet werden.

Es wird ein mögliches Interferometerkonzept vorgestellt, welches mit dem Ziel entwickelt wurde, die Anforderungen ( $2.5 \text{ nm}/\sqrt{\text{Hz}}$  von 10 bis 100 mHz mit einem  $1/f$ -Anstieg zwischen 10 und 1 mHz) unter den gegebenen Randbedingungen zu erfüllen.

Q 24.2 Di 16:45 Audi-A

**Siliziumnitrid-Membran als optomechanischer Koppler** —

●TOBIAS WESTPHAL, DANIEL FRIEDRICH, KAZUHIRO YAMAMOTO, KARSTEN DANZMANN und ROMAN SCHNABEL — Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (AEI) und Institut für Gravitationsphysik der Leibniz Universität Hannover, Callinstr. 38, 30167 Hannover

Das Quantenrückwirkungsrauschen setzt der Positionsbestimmung von Testmassen in Laserinterferometern, wie z.B. in Gravitationswellendetektoren, ein bislang unerreichtes Limit. Es wird ein neuartiges Interferometerdesign zur Bestätigung der theoretischen Modelle vorgestellt. Die Stabilisierung dieses kombinierten Michelson-Sagnac Interferometers und aktuelle Ergebnisse werden präsentiert. In diesem Interferometer wird eine Siliziumnitrid-Membran hoher Güte ( $10^6$ ) sowie geringer Masse (50 ng) als optomechanischer Koppler verwendet. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass das Experiment durch thermisches Rauschen limitiert ist, so dass eine Kühlung der Membran unerlässlich wird, um das Quantenrückwirkungsrauschen tatsächlich beobachten zu können.

Q 24.3 Di 17:00 Audi-A

**Long-term test of the isotropy of the speed of light using an optical-resonator-based apparatus** — ●CHRISTIAN EISELE, ALEXANDER YU. NEVSKY, and STEPHAN SCHILLER — Institut für Experimentalphysik, Heinrich-Heine-Universität, 40225 Düsseldorf

The isotropy of the speed of light is one of the best known invariance principles in physics. It is one aspect of Lorentz Invariance, which is a basic assumption of all theories of the fundamental forces. In the course of the past 120 years the isotropy has been tested with ever increasing precision.

We have developed a highly sensitive laser Michelson-Morley apparatus [1] and performed an extensive search for violation of the isotropy of  $c$ . The apparatus contains two orthogonal optical high-finesse resonators ( $F=180\,000$ ) to which two waves obtained from a monolithic 1064 nm Nd:YAG laser are frequency-stabilised. The resonators are embedded in a monolithic structure made of ultra low thermal expansion coefficient glass (ULE). The apparatus is continuously rotated using a highly accurate air bearing rotation table. The difference frequency between the resonators is measured as a function of the orientation in space. The apparatus is also actively stabilized from mechanical vibrations, tilt variations and temperature fluctuations.

We will report about the results of a measurement campaign of approximately one year duration. From the data we obtain coefficients describing a possible violation of Lorentz Invariance within two test theories, the standard model extension (SME) and the Mansouri-Sextl test theory. [1] Eisele et al., Opt. Comm. 281, 1189 (2008)

Q 24.4 Di 17:15 Audi-A

**Testing Lorentz Invariance in Vacuum and Matter Using Optical Resonators** — ●MORITZ NAGEL<sup>1</sup>, KATHARINA MÖHLE<sup>1</sup>,

EVGENY V. KOVALCHUK<sup>1</sup>, HOLGER MÜLLER<sup>2</sup>, and ACHIM PETERS<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Humboldt Universität zu Berlin, Institut für Physik, AG Optische Metrologie, Hausvogteiplatz 5-7, 10117 Berlin — <sup>2</sup>University of California, Berkeley, Department of Physics, Berkeley, CA 94720-7300

We present a new setup of a Michelson-Morley type experiment in which we compare light propagation in vacuum and matter to search for possible violations of local Lorentz invariance in the Maxwell and Dirac equations. Modern experiments that use optical resonators to probe for Lorentz invariance violations are based on measuring the resonance frequencies  $\nu = qc/(2nL)$  of the resonator ( $q$  is an integer,  $c$  is the speed of light,  $n$  the index of refraction of the medium, and  $L$  the length of the resonator). In our setup, we compare the eigenfrequencies of two crossed fused silica vacuum resonators with the eigenfrequency of a third resonator in which the light is propagating in matter. Thus, any type of Lorentz invariance violation that affects the isotropy of  $c$ ,  $L$ , or  $n$  can potentially be detected. Experiments performed in the past did not each by themselves provide enough information to distinguish between the different influences and therefore the results of two experiments had to be combined to obtain separate limits. Our new setup, however, enables us to give independent, simultaneous bounds on a broad range of Lorentz invariance violating coefficients in the Maxwell and Dirac sector in the framework of the Lorentz and CPT violating extension of the standard model of particle physics (SME).

Q 24.5 Di 17:30 Audi-A

**Ein kompaktes Diodenlasersystem für die Atominterferometrie mit zwei Spezies** — ●CHRISTINA RODE, MAIC ZAISER, VELTE

ULLRICH und RASEL ERNST MARIA — Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover

Wir stellen ein Diodenlasersystem zum simultanen Kühlen und Fangen von Kalium (K) und Rubidium (Rb) vor, welches außerdem auch zur Anregung kohärenter Raman-Übergänge in diesen beiden atomaren Spezies für die Atominterferometrie verwendet wird. Das Lasersystem zeichnet sich durch sehr gute spektrale Eigenschaften und eine hohe Ausgangsleistung von bis zu 3 W, sowie eine sehr hohe Stabilität, Flexibilität, Kompaktheit und Transportabilität aus. Es besteht aus je zwei Linearresonatorlasern bei einer Wellenlänge von  $\lambda_K \simeq 767 \text{ nm}$  bzw.  $\lambda_{Rb} \simeq 780 \text{ nm}$ , deren Laserfelder zunächst entsprechend überlagert und anschließend mittels Trapezverstärkerchips auf jeweils  $\simeq 1 \text{ W}$  Lichtleistung zum Betrieb eines 2D/3D MOT-Systems verstärkt werden. Zusätzlich existieren noch jeweils ein Referenzlaser, die beide mittels Frequenzmodulationsspektroskopie auf die jeweilige  $D_2$ -Linie von K bzw. Rb stabilisiert werden. Die Frequenz- und Phasenstabilisierung der restlichen Laser erfolgt jeweils mittels Schwebungsmessung an einer schnellen Photodiode und anschließender entsprechender Signalaufbereitung. Das vorgestellte Lasersystem soll in Zukunft zur Erzeugung quantenentarteter Bose-Fermi-Mischungen als Quelle für die Atominterferometrie benutzt werden und bildet einen wichtigen Bestandteil für einen geplanten Test des Äquivalenzprinzips auf Quantenebene.

Q 24.6 Di 17:45 Audi-A

**Microcavity spectroscopy and chip-scale frequency combs** — ●PASCAL DEL'HAYE<sup>1</sup>, OLIVIER ARCIZET<sup>1</sup>, RONALD HOLZSWARTH<sup>1</sup>,

and TOBIAS KIPPENBERG<sup>1,2</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching bei München, Deutschland — <sup>2</sup>Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Lausanne, Switzerland

Optical frequency combs have revolutionized the ability to measure optical frequencies and possess a variety of applications ranging from molecular gas sensing to atomic clocks. In this talk, a novel, monolithic type of optical frequency comb generator is presented. The broadband frequency combs are generated in fused silica microtoroids, which can confine light for long times in extremely small mode volumes. High optical quality factors ( $Q > 10^8$ ) give rise to a power enhancement that enables the comb generation via four-wave mixing. The frequency combs are generated from a single CW laser source and exhibit mode spacings in the range of 1 THz down to less than 100 GHz, corresponding to the free spectral range of the resonator. Additionally, we demonstrate control over both offset frequency and mode spacing of the comb, enabling full stabilization of the comb to a microwave frequency reference. Owing to their large mode separation, microcavity

combs are a perfect tool for applications like high capacity telecommunication and calibration of astrophysical spectrometers. Additionally, a novel spectroscopy method using an external cavity diode laser and a frequency comb is presented, enabling fast measurement of micro-cavity mode spectra at sub-MHz accuracy over a bandwidth exceeding 30 nm in the 1550 nm range.

Q 24.7 Di 18:00 Audi-A

**Calibration of Astronomical Spectrometers with Frequency Combs** — •TOBIAS WILKEN<sup>1</sup>, TILO STEINMETZ<sup>1</sup>, PHILLIP VILARWELTER<sup>1</sup>, CONSTANZA ARAUJO-HAUCK<sup>2</sup>, RONALD HOLZWARH<sup>1</sup>, THEODOR W. HÄNSCH<sup>1</sup>, and THOMAS UDEM<sup>1</sup> — <sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching — <sup>2</sup>European Southern Observatory, Garching

In astronomy the need for ever more precise measurements of spectral lines has led to a point where the traditional calibration sources - spectral lamps - are not sufficient any longer. For the next generation of telescopes new calibration techniques have to be developed to increase the precision with which stellar light can be measured.

Frequency combs - limited in their precision only by the atomic clock they are locked to - have the ability to achieve calibrations with virtually unlimited accuracy. A level of better than  $10^{-9}$  would be needed e.g. to detect extrasolar earthlike planets or directly observe the (accelerating) expansion of the universe.

We have set up a frequency comb based on a previously unreported Yb-doped fiber laser. For the individual modes to be resolvable with a spectrometer the mode spacing has been increased up to several GHz with a Fabry-Perot cavity. First test measurements at a solar telescope on Tenerife have been successfully performed and the next campaign at the HARPS spectrometer in Chile are in preparation.

Q 24.8 Di 18:15 Audi-A

**Hochauflösende Inertialsensor basierend auf kalten Atomen** — •THIJS WENDRICH, CHRISTIAN SCHUBERT, MICHAEL GILOWSKI, GUNNAR TACKMANN, PETER BERG, ERNST RASEL und WOLFGANG ERTMER — Institut für Quantenoptik, Leibniz Universität Hannover

Materiewelleninterferometrie hat durch ihr hohes Potential in der präzisen Messung von Inertialkräften einen festen Platz in der fundamentalen Physik und Metrologie eingenommen. Im Rahmen des Projekts CASI (Cold Atom Sagnac Interferometer) wird ein duales Atominterferometer, basierend auf optischen Ramanübergängen zur kohärenten Strahlteilung, für hochpräzise Messungen von Rotationen realisiert. Eine differentielle Messung zweier Atominterferometer, in der zwei Ensembles von kalten Rubidium-Atomen gegenläufig in die gemeinsame Interferometrieregion propagieren, ermöglicht die Diskriminierung von Rotationen und Beschleunigungen. Die Topologie des Atom Interferometers ähnelt der eines Mach-Zehnder-Interferometers: Die atomaren Ensembles werden mit Hilfe dreier Atom-wechselwirkungszonen geteilt, umgelenkt und wieder rekombiniert, sodass sich das Interferometer über 15 cm erstreckt und eine Fläche von 22 mm<sup>2</sup>

umfasst. In dem Vortrag werden neueste interferometrische Messungen präsentiert, aus denen sich Rückschlüsse auf die Limitierungen des Quantensensors ableiten lassen. Hierbei werden zentrale Elemente des Sensors, die zum Kühlen und Manipulieren der Atome verwendet werden, näher beleuchtet. Ziel ist eine Sensitivität des Quantensensors von einigen  $10^{-9}$  rad/s/ $\sqrt{Hz}$  für  $10^8$  Atome/s zu erreichen. Diese Arbeit ist unterstützt von DFG SFB407, QUEST, und FINAQS.

Q 24.9 Di 18:30 Audi-A

**High-order modes for reference cavities in optical clocks** — •BJÖRN STEIN, TANJA E. MEHLSTÄUBLER, IVAN SHERSTOV, MAK-SIM OKHAPKIN, BURGHARD LIPPHARDT, CHRISTIAN TAMM, and EKKEHARD PEIK — Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Germany

Optical clocks have reached a performance level where the thermal noise of ULE reference cavities becomes a limitation to the observed instability. Options for improvement include cooling, low mechanical loss materials, elongating the resonator and enlarging the on-mirror spot area: By sampling a larger area, thermally driven mechanical fluctuations of the mirror surface are averaged down. Practical considerations of resonator size and fabrication tolerances prohibit a significant increase of the TEM<sub>00</sub> spot size. We investigate the use of high-order TEM<sub>*m,n*</sub> modes to increase the effective spot area.

In existing reference resonators made from ULE, the mirror substrate is the dominant source of thermal noise. An improvement of the short-term instability by at least a factor of two seems feasible. Several new resonators now use different materials and the noise of the mirror coating is expected to be the future limitation in short term stability. Since the mirror coating noise is spatially uncorrelated, a much larger improvement in stability can be expected from using a high-order mode in such future ultra-stable resonators.

We present calculations on coating and substrate noise suppression for high-order Gauss-Hermite modes and report on the selective excitation of such modes in an optical resonator.

Q 24.10 Di 18:45 Audi-A

**Trapped Atom Clock on a Chip - TACC** — CLEMENT LACROUTE<sup>1</sup>, FRIEDEMANN REINHARD<sup>2</sup>, CHRISTIAN DEUTSCH<sup>2</sup>, FERNANDO RAMIREZ-MARTINEZ<sup>1</sup>, JAKOB REICHEL<sup>2</sup>, and •PETER ROSENBUSCH<sup>1</sup> — <sup>1</sup>SYRTE, Observatoire de Paris, FRANCE — <sup>2</sup>LKB, Ecole Normale Supérieure, Paris, FRANCE

We present a new project of a microwave clock interrogating magnetically trapped atoms using the atom chip technology. The project builds on the demonstration experiment [P. Treutlein *et al.*, Phys. Rev. Lett., vol. 92, 203005 (2004)] but aims at an improved stability of a few  $10^{-13}$  at 1 s while remaining of breadboard size. TACC will be able to operate with magnetically trapped thermal atoms or a Bose-Einstein condensate, thereby being one of the first experiments to use condensates in a metrological apparatus. We present the current status of the experiment.