

Q 52: Precision spectroscopy of atoms and ions III

Time: Thursday 14:00–16:00

Location: V47.03

Q 52.1 Thu 14:00 V47.03

Towards Precision Spectroscopy of Cold Highly Charged Ions — ●OSCAR O. VERSOLATO¹, MARIA SCHWARZ¹, ALEXANDER WINDBERGER¹, JOSÉ R. CRESPO LÓPEZ-URRUTIA¹, ALEXANDER D. GINGELL², ANDERS K. HANSEN², MAGNUS A. SØRENSEN², MICHAEL DREWSEN², PIET O. SCHMIDT³, and JOACHIM ULLRICH¹ — ¹Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Germany — ²University of Aarhus, Aarhus, Denmark — ³Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig and Leibniz Universität Hannover

Forbidden optical transitions in highly charged ions (HCIs) are excellent candidates for high stability frequency standards due to their low susceptibility to external fields. Certain lines in HCIs can be used to probe the hypothesized time evolution of fundamental constants due to an enhanced sensitivity to variations of the fine structure constant. However, such high accuracy experiments require HCIs at rest in space, i. e. they need to be trapped and cooled. A broad range of HCIs can be sympathetically cooled using a Be⁺ ion cloud trapped in a Paul trap if the ratio of charge over mass is similar to that of the co-trapped Be⁺ ions. A laser system at 313 nm wavelength for laser cooling of Be⁺ ions has been constructed towards this end. Our 4 K cryogenic linear Paul trap CryPTE_x has been commissioned successfully, trapping rovibrationally cold molecular ions (MgH⁺) in collaboration with the QUANTOP group in Aarhus. A proof-of-principle experiment on the ²P_{3/2}-²P_{1/2} (M1) transition at 441 nm in boron-like Ar¹³⁺ is currently being set up, using CryPTE_x in combination with the electron beam ion traps (EBITs) at MPIK Heidelberg to produce HCIs.

Q 52.2 Thu 14:15 V47.03

Status of the HITRAP cooler Penning trap. — ●SVETLANA FEDOTOVA¹, ELIZABETH BOULTON¹, KLAAS BRANTJES¹, FRANK HERFURTH¹, NIKITA KOTOVSKIY¹, CLAUDE KRANTZ², DENIS NEIDHERR¹, WOLFGANG QUINT¹, and JOCHEN STEINMANN¹ — ¹GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt — ²Heidelberg University

The HITRAP cooler Penning trap will be used for cooling and storing of bunches of up to 10⁵ ions as heavy as U⁹²⁺. Using both electron cooling and resistive cooling will allow cooling down ions from temperature of 6keV/u to a value below 1meV. Bunches of 10¹⁰ electrons can be injected into the trap from an electron source installed downstream. The electrostatic potentials of the trap electrodes will be arranged to form a nested trap in order to allow capture both, ions and electrons, simultaneously inside the trap. The sequence of the different processes: electron injection, ion capture in flight, electron cooling, resistive cooling and controlled ejection requires a sophisticated control system. Recent injection tests with ions and electrons showed the necessity of electrical and magnetic field alignment. A test ion source together with a system of apertures and imaging detectors will be used to align the fields.

Q 52.3 Thu 14:30 V47.03

Bound-electron *g*-factor measurement by double-resonance spectroscopy of a fine-structure transition — ●DAVID VON LINDENFELS^{1,2,3}, MARCO WIESEL^{1,2}, WOLFGANG QUINT^{1,2}, MANUEL VOGEL^{1,4}, ALEXANDER MARTIN^{1,4}, and GERHARD BIRKL⁴ — ¹GSI Darmstadt — ²Universität Heidelberg — ³MPIK Heidelberg — ⁴TU Darmstadt

The precise determination of bound-electron *g*-factors in highly-charged ions (e.g. boron-like argon Ar¹³⁺ and calcium Ca¹⁵⁺) provides a stringent test of bound-state QED in extreme fields and contributes to the determination of fundamental constants. We have prepared a cryogenic Penning trap that features interaction of ions with electromagnetic fields in the static (DC), radio frequency, microwave, and visible regime. We will excite the fine-structure transition ²²P_{1/2} – ²²P_{3/2} with laser radiation and probe microwave transitions between Zeeman sub-levels (in a laser-microwave double-resonance technique). The ion cyclotron resonance measures the static magnetic field. From this the electronic *g*-factor *g_J* can be determined on a parts-per-billion level of accuracy. The experiment is currently being set up for measurements with medium heavy ions, which we produce inside the trap vacuum chamber. In the future, the trap will be connected to the HITRAP beamline at GSI, and the method will be applied to hyperfine-structure transitions of hydrogen-like heavy ions in order to measure

electronic and nuclear magnetic moments. In this contribution, we present the physics background, the measurement principle, and the current status of the experiment.

Q 52.4 Thu 14:45 V47.03

Electric Dipole Moments in heavy atomic systems — ●BODHADITYA SANTRA, UMAKANTH DAMMALAPATI, KLAUS JUNGMANN, and LORENZ WILLMANN — KVI, University of Groningen, NL
Permanent electric dipole moments (EDMs) violate both discrete symmetries parity (P) and time-reversal (T). Any observation of an EDM at the present stage of sensitivity would imply CP-violation beyond the Standard Model. EDMs in compound systems like nuclei, atoms or molecules can experience enhancements which scale as Z³. Atomic radium will be discussed in comparison to other systems. The particularly sensitivity of radium arises from its nuclear and atomic structure. As a result radium offers the largest known atomic enhancement factors to nuclear and electron EDMs. The enhancement factors are depending on atomic state and are particularly large for metastable D-states. An experimental exploitation requires sources of suitable isotopes, the preparation of laser cooled and trapped samples and a sensitive detection method. These issues will be discussed and with the particular view on the atomic physics aspects of the sample preparation.

Q 52.5 Thu 15:00 V47.03

Erste direkte Bestimmung der Larmorfrequenz eines einzelnen gespeicherten Protons — ●HOLGER KRACKE^{1,2}, KLAUS BLAUM^{3,4}, CLEMENS LEITERITZ², ANDREAS MOOSER^{1,2}, WOLFGANG QUINT⁵, CRICIA RODEGHERI^{2,3}, STEFAN ULMER^{2,4,5} und JOCHEN WALZ^{1,2} — ¹Helmholtz Institut Mainz, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz — ²Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz — ³Max-Planck-Institut für Kernphysik, 69117 Heidelberg — ⁴Ruprecht-Karls-Universität, 69047 Heidelberg — ⁵GSI Darmstadt, 64291 Darmstadt

Die Bestimmung des *g*-Faktors eines einzelnen Protons resultiert aus der Messung seiner freien Zyklotronfrequenz und Larmorfrequenz in einem Doppel-Penning-Fallen-System. Die freie Zyklotronfrequenz wird aus den drei unabhängigen Eigenbewegungen in der sogenannten Präzisionsfalle bestimmt. In der sogenannten Analysefalle wird durch Einführung einer magnetischen Inhomogenität das Spin-Moment an die Bewegung entlang der Fallenachse gekoppelt. Die axiale Bewegungsfrequenz wird somit abhängig vom Spin-Zustand des Protons. Der Sprung, der einem Spin-Flip entspricht, beträgt allerdings nur $\delta\nu_z = 200$ MHz bei einer Axialfrequenz von $\nu_z = 680$ kHz, was hohe Anforderungen an die Stabilität des Systems und die Präparation des Protons stellt. Im Vortrag wird vorgestellt, wie zum ersten Mal die Larmorresonanzkurve eines einzelnen Protons gemessen wurde.

Q 52.6 Thu 15:15 V47.03

Erste gespeicherte und lasergekühlte Ionen in der SPECTRAP-Penningfalle — ●ZORAN ANDJELKOVIC^{1,2}, RADU CAZAN¹, MANUEL VOGEL³, RAPHAEL JÖHREN⁴, JONAS MADER⁴, VOLKER HANNEN⁴, CHRISTIAN WEINHEIMER⁴ und WILFRIED NÖRTERSCHÄUSER¹ — ¹Universität Mainz — ²GSI Darmstadt — ³Technische Universität Darmstadt — ⁴Universität Münster

Am SPECTRAP-Experiment an der GSI Darmstadt wurden erstmals Mg Ionen aus einer externen Quelle in die zylindrische Penningfalle transportiert, gespeichert und mit Hilfe eines frequenzvervierfachen Faserlasersystems gekühlt. Die Ionen wurden nichtdestruktiv mit Hilfe des Fluoreszenzsignals aber auch elektronisch über den an die Elektroden angeschlossenen Resonanzschwingkreis detektiert. Mit dem direkten optischen Zugang zur Fallenmitte und dem elektronischem Ionennachweis bietet das Experiment einzigartige Möglichkeiten zur Untersuchung der Dynamik der Ionen und der verschiedenen Kühlverfahren. An SPECTRAP soll sowohl das Widerstandskühlen als auch sympathetisches Kühlen mit Mg Ionen eingesetzt werden. Die ersten Experimentergebnisse von SPECTRAP werden präsentiert und sind ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Laserspektroskopie von schweren, hochgeladenen Ionen an HITRAP. Weiterhin wird ein Ausblick auf die sich anschließenden Experimente an SPECTRAP gegeben.

Q 52.7 Thu 15:30 V47.03

Status des Experiments zur Bestimmung des *g*-Faktor

des Protons — ●ANDREAS MOOSER^{1,2}, KLAUS BLAUM^{3,4}, HOLGER KRACKE^{1,2}, CLEMENS LEITERITZ², WOLFGANG QUINT⁵, CRICIA RODEGHERI^{2,3}, STEFAN ULMER^{2,4,5} und JOCHEN WALZ^{1,2} — ¹Helmholtz Institut Mainz, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz — ²Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz — ³Max-Planck-Institut für Kernphysik, 69117 Heidelberg — ⁴Ruprecht-Karls-Universität, 69047 Heidelberg — ⁵GSI Darmstadt, 64291 Darmstadt

Ziel des Experiments ist die erste direkte Messung des g -Faktors eines einzelnen Protons in einer Penningfalle mit einer Präzision von 10^{-9} . Der g -Faktor kann hierbei aus der Zyklotronfrequenz und der Larmorfrequenz bestimmt werden. Die Messung der Larmorfrequenz erfolgt über den kontinuierlichen Stern-Gerlach Effekt, einer Kopplung des Eigendrehimpulses an die Bewegung des Ions im inhomogenen Magnetfeld einer sogenannten magnetischen Flasche. Die Zyklotronfrequenz wird über die drei Eigenfrequenzen des Ions in der Falle bestimmt. Um die angestrebte Präzision erreichen zu können, werden zum einen höchste Anforderungen an die Stabilität der Speicherpotentiale gestellt. Zum anderen werden hochsensitive Nachweise benötigt, welche mit hohen Signal-zu-Rausch Verhältnissen genaue und schnelle Messzyklen erlauben. Hierzu wurden neuartige toroidale Detektoren entwickelt sowie ein flüssig He-Kryostat aufgebaut. Im Vortrag werden erste Resultate zu diesen Entwicklungen präsentiert.

Q 52.8 Thu 15:45 V47.03

Präzisionsoptimierung eines Penningfallen-Experiments zur Bestimmung des g -Faktors von gebundenen Elektronen in mittelschweren Ionen — ●FLORIAN KÖHLER¹, KLAUS BLAUM², WOLFGANG QUINT¹, BIRGIT SCHABINGER³, SVEN STURM^{2,3}, ANKE WAGNER² und GÜNTER WERTH³ — ¹GSI, 64291 Darmstadt, Deutschland — ²MPI für Kernphysik, 69117 Heidelberg, Deutschland — ³Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 Mainz, Deutschland

Zur Überprüfung der Quantenelektrodynamik in sehr starken elektrischen Feldern eignen sich Hochpräzisionsmessungen des gyromagnetischen Faktors (g -Faktor) eines atomar gebundenen Elektrons (BS-QED). Aktuell wurde mit dem verwendeten Penningfallen-Aufbau der g -Faktor von wasserstoffähnlichem Silizium $^{28}\text{Si}^{13+}$ aus dem Verhältnis zwischen der freien Zyklotron- und der Lamor-Frequenz mit einer relativen Genauigkeit von $5 \cdot 10^{-10}$ gemessen [1].

Eine neu entwickelte Phasenmethode (Pulse 'N' Amplify, PNA) [2], mit der die modifizierte Zyklotronfrequenz bei Energien am Kühlungs-limit noch genauer messbar ist, erfordert weitere Minimierungen von Störeinflüssen. Verbesserungen der Druckkompensation der Helium- und Stickstoff-Reservoirs und die Magnetfeldstabilität werden vorgestellt. Insbesondere wird der Einfluss einer optimierten supraleitenden Abschirmspule auf die zu messende modifizierte Zyklotronfrequenz präsentiert.

[1] S. Sturm *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 023002 (2011)

[2] S. Sturm *et al.*, Phys. Rev. Lett. **107**, 143003 (2011)