

A 18: Precision Spectroscopy of Atoms and Ions II

Time: Thursday 10:30–12:45

Location: F 107

A 18.1 Th 10:30 F 107

Laserspektroskopische Messungen an schnellen Ionen für einen Test der Speziellen Relativitätstheorie — ●BENJAMIN BOTERMANN¹, G. HUBER¹, S. KARPUK¹, W. NÖRTERSCHÄUSER^{1,4}, C. NOVOTNY¹, D. BING², D. SCHWALM², A. WOLF², G. GWINNER³, C. GEPPERT^{1,4}, T. KÜHL⁴, T. STÖHLKER⁴, T. W. HÄNSCH⁵, S. REINHARDT⁵ und G. SAATHOFF⁵ — ¹Johannes Gutenberg Universität Mainz — ²MPI für Kernphysik, Heidelberg — ³University of Manitoba, Winnipeg, Canada — ⁴GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt — ⁵MPI für Quantenoptik, Garching

Durch die Bestimmung der Anregungsfrequenz eines elektromagnetischen Dipolübergangs in schnellen Ionen kann die Zeitdilatation der Speziellen Relativitätstheorie (SRT) mit dopplerfreien Laserspektroskopieverfahren präzise vermessen werden. Für einen Test dieser Art werden im Experimentierspeicherring des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung metastabile ${}^7\text{Li}^+$ -Ionen mit einer Geschwindigkeit von $0,338 c_0$ gespeichert. In den jüngsten Messungen konnte die Resonanzfrequenz der gespeicherten Lithiumionen auf wenige MHz genau bestimmt und mit der SRT auf einem Niveau von $1,6 \cdot 10^{-8}$ verglichen werden ohne eine Abweichung festzustellen. Damit wurde dieselbe Sensitivität wie bei den Vorgängerexperimenten erreicht, die die SRT bei niedrigeren Ionengeschwindigkeiten getestet haben [1]. Wir stellen Weiterentwicklungen im Experimentaufbau vor, von denen wir erwarten, dass sie die Empfindlichkeit auf Abweichungen von der SRT um eine Größenordnung steigern können.

[1] S. Reinhardt et al. *Nat. Phys.* **3** (2007) 861.

A 18.2 Th 10:45 F 107

Recent theoretical progress in studying the two-photon emission from heavy, few-electron ions — ●FILIPPO FRATINI^{1,2}, THORSTEN JAHRSETZ², THOMAS STÖHLKER^{1,2}, STEPHAN FRITZSCHE^{1,3}, and ANDREY SURZHYKOV^{1,2} — ¹GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, D-64291 Darmstadt, Germany — ²Physikalisches Institut, Universität Heidelberg, D-69120 Heidelberg, Germany — ³Department of Physical Sciences, P.O. Box 3000, Fin-90014 University of Oulu, Finland

In this presentation we review the recent theoretical progress in studying the two-photon decay of few-electron ions. Special emphasis is placed on the quantum and classical correlations between the emitted photons. We argue that these correlations are described most naturally within the framework of the second-order perturbation theory and the density matrix approach. The general properties of the two-photon (spin) density matrix will be discussed both, in the non-relativistic dipole and exact relativistic approximations. By using these approximations, detailed calculations are performed for the angular and polarization correlations in the $2s_{1/2} \rightarrow 1s_{1/2}$ as well as $2^1S_0 \rightarrow 1^1S_0$, $2^3P_0 \rightarrow 1^1S_0$ and $2^3S_1 \rightarrow 1^1S_0$ transitions in hydrogen- and helium-like ions, correspondingly [1]. Based on the results of these calculations, we discuss the role of relativistic and many-body effects in the correlated two-photon emission from heavy atomic systems.

[1] Th. Jahrsetz *et al.*, poster, this conference.

A 18.3 Th 11:00 F 107

Laser spectroscopy of highly charged argon at the Heidelberg electron beam ion trap — ●VOLKHARD MÄCKEL, RENEE KLAWITTER, SVEN BERNITT, GÜNTER BRENNER, JOSÉ RAMÓN CRESPO LÓPEZ-URRUTIA, and JOACHIM ULLRICH — Max-Planck-Institut für Kernphysik, Saupfercheckweg 1, 69117 Heidelberg

We report on a laser fluorescence measurement of the forbidden visible transition in boron-like Ar^{13+} at the Heidelberg Electron Beam Ion Trap. The $M1 1s^2 2s^2 2p^3 P_{3/2} - {}^3P_{1/2}$ transition was resonantly excited using a tunable pulsed dye laser while simultaneously monitoring the fluorescence photons, yielding a wavelength of $441.2560(3)$ nm. Furthermore, by applying forced evaporative cooling on the trapped ions we were able to resolve the Zeeman splitting of the transition due to the magnetic field used for trapping the ions with a resolving power of $\lambda/\delta\lambda=15000$. It has to be noted that the present limitation is mainly due to the Doppler width of the trapped ions. Better cooling together with two-photon excitation should allow for further accuracy improvements.

A 18.4 Th 11:15 F 107

XUV frequency comb metrology — ●CHRISTOPH GOHLE¹, DOMINIK Z. KANDULA², TJEERD J. PINKERT², WIM UBACHS², and KJELD S.E. EIKEMA² — ¹Ludwig-Maximilians-Universität München, Schellingstrasse 4, 80977 München — ²Vrije Universiteit Amsterdam, De Boelelaan 1081, 1081HV Amsterdam

We report on an approach to transfer the remarkable precision of comb lasers to the extreme ultraviolet (XUV), a frequency region previously not accessible to these devices. This is demonstrated by direct XUV frequency comb excitation of ${}^4\text{He}$ atoms from the $1s^2$ ground state to the $1snp$ ($n \in \{4, 5\}$) excited states. The required XUV comb at wavelengths below 52 nm is generated by amplification and coherent upconversion by high order harmonic generation (HHG) of a pair of pulses originating from a near-infrared femtosecond frequency comb laser. Signal in the form of stable Ramsey-like fringes with high contrast is observed when the comb laser is scanned over the nP states of helium. This is the first proof that frequency combs survive the HHG process below 100 nm wavelength. The accuracy of the measured XUV frequencies (6 MHz, 10^{-9} relative accuracy) represents an improvement of almost an order of magnitude over previous results, and challenges these as well as current theoretical calculations. As far as we know, this is the first demonstration of an absolute frequency measurement in the XUV spectral range.

A 18.5 Th 11:30 F 107

Magnesium Spektroskopie mit einem blauen Frequenzkamm — ●SASCHA REINHARDT, ELISABETH PETERS, THOMAS UDEM und THEODOR W. HÄNSCH — Max Planck Institut für Quantenoptik, Garching, Deutschland

Die Verwendung eines Frequenzkamms für eine Zwei-Photon-Spektroskopie hat den Vorteil, dass eine Spektroskopie begrenzt durch die natürliche Linienbreite möglich ist und nichtlineare Prozesse, wie Frequenzverdopplung, deutlich effizienter genutzt werden können, wie es im Experiment gezeigt wird.

Der Zwei-Photonen Übergang $3^1S_0 \rightarrow 3^1D_2$ im Magnesiumspektrum wird mit einem blauen Frequenzkamm bei 431 nm angeregt, der über Frequenzverdopplung eines ps-Ti:Sa Laser bei 862 nm erzeugt wird. Die Absolutfrequenz des Übergangs $3^1S_0 \rightarrow 3^1D_2$ und die Isotopverschiebung zwischen ${}^{24}\text{Mg}$ und ${}^{26}\text{Mg}$ sind mit einer Unsicherheit von < 1 MHz bestimmt worden und sind damit um zwei Größenordnungen genauer als bei vorherigen Messungen [1].

[1] G. Risberg, *Ark. Fys.* **28**, 381 (1965)

A 18.6 Th 11:45 F 107

Entwicklung eines selbstangeregten Einzelionen-Oszillators für das g-Faktor Experiment an hochgeladenen Ionen — ●SVEN STURM¹, KLAUS BLAUM², WOLFGANG QUINT³, BIRGIT SCHABINGER¹ und ANKE WAGNER² — ¹Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 Mainz, Germany — ²Max-Planck-Institut für Kernphysik, 69117 Heidelberg, Germany — ³GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, 64291 Darmstadt, Germany

Für die hochpräzise Messung des magnetischen Moments des Elektrons gebunden in wasserstoffähnlichem Silizium und Kalzium [1] muss die Spinausrichtung eines einzelnen Ions in einer Penningfalle detektiert werden. Dies ist unter Ausnutzung des kontinuierlichen Stern-Gerlach Effektes [2] möglich, der eine spinabhängige Verschiebung der Axialfrequenz bewirkt. Um diesen Frequenzunterschied in einer minimalen Messzeit detektieren zu können, wurde ein neuartiges Messsystem implementiert. Dabei wird das Ion durch Eigenanregung auf Energien deutlich oberhalb des thermischen Gleichgewichtes gebracht, indem ein Teil des detektierten Signals zurückgeführt wird [3]. Die dabei resultierende exponentiell instabile Bewegung wird durch einen digitalen Signalprozessor (DSP) stabilisiert. Gleichzeitig wird das Signal des Ions gemessen und seine Frequenz aus der akkumulierten Phase extrahiert. Die experimentelle Realisierung sowie erste Ergebnisse werden präsentiert.

[1] B. Schabinger *et al.*, *J. Phys. Conf. Ser.* **163**, 012108 (2009)

[2] G. Werth *et al.*, *Adv. Atom. Mol. Opt. Phys.* **48**, 191 (2002)

[3] B. D'Urso *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **94**, 113002 (2005)

A 18.7 Th 12:00 F 107

Der g-Faktor des gebundenen Elektrons in mittelschweren Ionen — ●ANKE WAGNER¹, KLAUS BLAUM¹, WOLFGANG QUINT²,

BIRGIT SCHABINGER³ und SVEN STURM³ — ¹MPI für Kernphysik, D-69117 Heidelberg, Germany — ²GSI Darmstadt, 64291 Darmstadt, Germany — ³Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität, 55099 Mainz, Germany

Hochpräzisionsmessungen des gyromagnetischen Faktors (g -Faktor) eines gebundenen Elektrons ermöglichen einen sehr genauen Test von Rechnungen zur Quantenelektrodynamik gebundener Zustände (BS-QED). Der g -Faktor von wasserstoffähnlichem Kohlenstoff und Sauerstoff wurde bereits gemessen [1,2]. Da die BS-QED Effekte mit der Kernladungszahl Z zunehmen, ist es geplant als nächstes den g -Faktor von lithium- und wasserstoffähnlichem Silizium und Kalzium zu messen [3]. Der g -Faktor kann durch die Messung der freien Zyklotronfrequenz und der Larmor-Spinpräzessionsfrequenz bestimmt werden. Um die freie Zyklotronfrequenz zu erhalten, werden die drei Eigenfrequenzen eines Ions in einer Penningfalle bestimmt. Die Larmor-Frequenz wird indirekt durch den kontinuierlichen Stern-Gerlach Effekt [4] gemessen. Der momentane Stand des Experiments, sowie erste Ergebnisse, werden präsentiert.

[1] H. Häfner *et al.*, Phys. Rev. Lett. **85**, 5308 (2000)

[2] J. Verdú *et al.*, Phys. Rev. Lett. **92**, 093002 (2004)

[3] B. Schabinger *et al.*, J. Phys. Conf. Ser. **163**, 012108 (2009)

[4] M. Vogel *et al.*, Nucl. Inst. Meth. B **253**, 7 (2005)

A 18.8 Th 12:15 F 107

Nachweiselektronik zur Messung der Eigenfrequenzen eines einzelnen Protons in einer Penningfalle — •ANDREAS MOOSER¹, KLAUS BLAUM^{2,3}, HOLGER KRACKE¹, WOLFGANG QUINT⁴, CRICIA RODEGHERI¹, STEFAN ÜLMER^{1,2,4} und JOCHEN WALZ¹ — ¹Institut für Physik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz — ²Max-Planck-Institut für Kernphysik, 69117 Heidelberg — ³Ruprecht-Karls-Universität, 69047 Heidelberg — ⁴GSI Darmstadt, 64291 Darmstadt

Ziel des Experiments ist die direkte Messung des g -Faktors eines einzelnen Protons in einer Penningfalle. Der g -Faktor kann hierbei aus der Zyklotronfrequenz und der Larmorfrequenz, welche an eine weitere Eigenfrequenz gekoppelt wird, bestimmt werden. Zur Messung der

Eigenfrequenzen werden hochempfindliche Detektoren, die den Nachweis des einzelnen Protons erlauben, benötigt. Die Nachweise bestehen aus Resonatoren hoher Güte und einer nachfolgenden rauscharmen Verstärkerstufe. Das Signal kann über induzierte Ströme mit diesen Detektoren nachgewiesen werden. Dabei erlaubt es die kryogene Umgebung das Signal/Rausch-Verhältnis zu erhöhen, indem supraleitende toroidale Spulen verwendet werden. Mit den freien Resonatoren wurden Güten von 35000 und 28000 erreicht. Im Vortrag werden die Verstärkerstufe sowie die supraleitenden Resonatoren vorgestellt. Auf Verlustmechanismen in den Resonatoren wird eingegangen.

A 18.9 Th 12:30 F 107

Precise measurement of the Lamb shift in hydrogen-like lead ions with low-temperature microcalorimeters — •S.

KRAFT-BERMUTH¹, V. ANDRIANOV¹, K. BECKERT¹, A. BLEILE¹, CH. CHATTERJEE¹, A. ECHLER¹, P. EGELHOF¹, A. GUMBERIDZE¹, S. ILIEVA¹, O. KISELEV¹, C. KILBOURNE², H.-J. KLUGE¹, D. MCCAMMON³, J. P. MEIER¹, R. REUSCHL¹, T. STÖHLKER¹, and M. TRASSINELLI¹ — ¹Gesellschaft für Schwerionenforschung, Darmstadt, Germany — ²NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt, USA — ³Department of Physics, University of Wisconsin, Madison, USA

The precise determination of the energy of the Lyman- α energies in hydrogen-like heavy ions provides a sensitive test of quantum electrodynamics in very strong Coulomb fields. We present the final results of the first measurement of the Lyman- α lines of lead ions Pb81+ with a low-temperature microcalorimeter at the Experimental Storage Ring (ESR) at GSI. The prototype detector array consisted of 8 silicon thermistors with Sn and Pb absorbers, for which an average energy resolution of 130 eV was obtained for 59 keV X-rays. The measured energy of the Lyman- α 1 line in the emitter frame was $E(\text{Ly-}\alpha 1, \text{Pb}81+) = 77.937(26)$ keV, which agrees well with the theoretical prediction. The systematic error is mainly due to uncertainties in the positions of the pixels as well as the width of the gas-jet target. To improve the statistics, a new array with 32 pixels has been equipped; first tests yielded an average energy resolution of 43 eV for 59 keV X-rays. The talk will report on the current status and discuss perspectives for the Lamb shift experiment with the improved performance .