

Kalte geladene Teilchenensembels erstmalig an SpecTrap optisch abgebildet*

S. Schmidt^{1,2}, T. Murböck³, W. Nörtershäuser^{1,2}, Z. Andelkovic⁴, M. Vogel³, A. Martin³, G. Birkel³, V. Hannen⁵, J. Vollbrecht⁵, C. Weinheimer⁵, D. Segal⁶ und R. Thompson⁶

¹Institut für Kernphysik, TU Darmstadt; ²Institut für Kernchemie, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz; ³Institut für Angewandte Physik, TU Darmstadt; ⁴GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt; ⁵Westfälische Wilhelms-Universität, Münster; ⁶Imperial College London

In den vergangenen Jahrzehnten eröffnete die rasante Entwicklung auf dem Gebiet des sympathetischen Kühlens den Zugang zu neuartigen Quantenphänomenen sowie technischen Anwendungen auf dem Gebiet ultrakalter Atome und Ionen. Sympathetisches Kühlen wird in den meisten Fällen angewendet, wenn andere Kühlverfahren wie z. B. das Laserkühlen nicht zugänglich sind. Dies gilt insbesondere für hochgeladene Ionen (engl. "Highly Charged Ions", HCIs), die Gegenstand unserer gegenwärtigen Untersuchungen an SpecTrap sind. Folglich haben wir eine Kühlstrategie auf Grundlage lasergekühlter Magnesium-Ionen entwickelt, die es uns erlauben wird alle Arten von HCIs bis auf einige mK abzukühlen, um diese für zukünftige hochpräzise Laserspektroskopieexperimente an SpecTrap zugänglich zu machen.

Eine Übersicht des experimentellen Aufbaus sowie erste experimentelle Ergebnisse zu lasergekühlten Mg^+ -Ionen sind in [1] dargestellt. Die Mg^+ -Ionen werden in einer Elektronenstoßionisationsquelle erzeugt und in kleinen Paketen von 1–10 μs Länge in eine zylindrische Penning-Falle geladen. Durch präzises Schalten der Fallen-

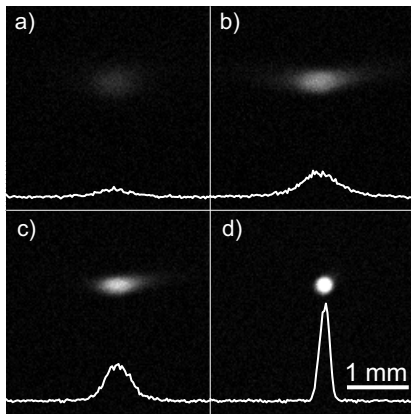


Abbildung 1: Bilder der Ionenwolke mit Intensitätsprofilen.

spannungen können mehrere solcher Bunches gespeichert und somit in der Falle akkumuliert werden. Zudem eröffnet sich dadurch die Möglichkeit der Isotopenselektion beim Laden. Die Ansteuerung der Fallenparameter und der Ionenoptik erfolgt dabei über die von uns neu entwickelte Experimentiersteuerung, welche erfolgreich in 2012 getestet wurde.

Nachdem die Ionen in der Falle gespeichert und angereichert werden konnten, wurden diese durch Einstrahlen eines Lichtfeldes bei 280 nm in axialer Richtung lasergekühlt. Für diesen Zweck wurde ein neuer Seed-Laser zur Erweiterung des bestehenden Lasersystems beschafft und in Betrieb genommen. Nach der Frequenzvervierfachungseinheit stehen uns nun mehr als 10 mW UV-Licht zum Kühlen der Ionenwolke zur Verfügung. Zudem konnte eine Frequenzstabilität des Seed-Lasers von einigen hundert kHz mittels eines hochpräzisen Wellenlängenmessgerätes erreicht werden.

Durch Detektion des Streulichtes des Kühlübergangs lässt sich die Ionenwolke in radialer Richtung spektroskopisch untersuchen. Es zeigte sich, dass sich die Zustandseigenschaften der Ionenwolke während des Kühlvorgangs veränderten [1] und die Ionenwolke das Verhalten eines stark gekoppelten Plasmas aufweist. Durch eine detaillierte Analyse der gemessenen Spektren lässt sich zudem ein oberes Limit für die Temperatur des ionischen Ensembles von rund 60 mK angeben. Darüber hinaus konnte die Lebensdauer der Ionenwolke durch eine Langzeitmessung des Fluoreszenzsignals ermittelt werden. Die Messungen haben gezeigt, dass die Ionenwolke für einen Zeitraum von mehr als 75 Minuten ohne signifikant auftretende Verluste gespeichert werden konnte.

Zusätzlich zur Detektion des Fluoreszenzsignals mittels eines Photomultipliers wurde die Wolke durch den Einsatz einer UV-CCD Kamera erstmalig optisch abgebildet. Eine Serie von Bildern der Ionenwolke ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie zeigt die Kompression der Ionenwolke in radialer Richtung während des Kühlvorgangs sowie die entsprechenden radialen Intensitätsverteilungen. Form und Position der Wolke ließen sich zudem durch Variation der Fallenspannungen gezielt beeinflussen.

Zusammenfassend haben die experimentellen Ergebnisse gezeigt, dass wir durch die vorgenommenen Änderungen an der experimentellen Apparatur in der Lage sind, eine ideale Quelle kalter Ionen zum Einsatz des sympathetischen Kühlens an HCIs zu erzeugen. Dies wird es uns in Zukunft ermöglichen, erste hochpräzise Laserspektroskopieexperimente an schweren, niedriggeladenen und mittelschweren, hochgeladenen Ionen durchzuführen.

Quellenangabe

[1] Z. Andelkovic, R. Cazan et. al., Phys. Rev. A 87, 033423 (2013)

*Dieses Projekt wird finanziell durch das BMBF (05P12RDF4, 06DA9020I und 06MS7191), die DFG, den EPSRC, die GSI, die Helmholtz Association (VH-NG-148), die HGS-HiRe und das HIM unterstützt.