

Eine Penningfalle für die Laserspektroskopie an kalten, gespeicherten, hochgeladenen Ionen

M. Vogel¹, Z. Andjelkovic², Ch. Geppert¹, J. Krämer², D.F.A. Winters¹, and W. Nörtershäuser^{1,2}

¹Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH, Atomphysik, Planckstrasse 1, D-64291 Darmstadt, Germany; ²Institut für Kernchemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Fritz-Strassmann-Weg 2, D-55128 Mainz, Germany

An der GSI werden in naher Zukunft hochgeladene Ionen bei sehr niedrigen Energien und kryogenen Temperaturen zur Verfügung stehen. Das HITRAP-Experiment dient dazu, hochgeladene Ionen auf Energien von wenigen keV pro Ladung abzubremesen, in einer Penningfalle einzufangen und zu kühlen [1]. Dies bietet erstmals die Möglichkeit, Laserspektroskopie an kalten wasserstoff- und lithiumähnlichen Ionen zu betreiben. Damit lässt sich die Quantenelektrodynamik (QED) im Bereich sehr starker elektrischer und magnetischer Felder testen. Auf dem magnetischen Sektor erwartet man die besten Tests aus dem Vergleich der Grundzustands-Hyperfeinstruktur in wasserstoff- und lithiumähnlichen Ionen, da die Beiträge der Kernstruktur zur Hyperfeinaufspaltung auf diese Weise effektiv eliminiert werden können. Umgekehrt lassen sich aber Details der Kernstruktur aus solchen Experimenten entnehmen, wenn die Korrektheit der QED-Berechnungen bestätigt ist. Hier bietet HITRAP auch Zugang zu radioaktiven Isotopen mit Lebensdauern in der Größenordnung von einigen zehn Sekunden.

Wir entwickeln zur Zeit in Zusammenarbeit mit dem Imperial College in London und der GSI eine Penningfalle, die für die laserspektroskopische Messung der Hyperfeinstruktur verwendet werden soll. Die Falle soll später im vormaligen "RETrap"-Magneten des Lawrence Livermore National Laboratory (derzeit am Lawrence Berkeley National Laboratory) eingesetzt werden. Es handelt es sich um einen supraleitenden Magneten (6 T), der radialen und axialen Zugriff in die kalte Bohrung (4 K) erlaubt und damit beste Bedingungen für unser Experiment liefert. Im März 2007 erfolgt der Transport und voraussichtlich im Juni 2007 soll der Aufbau an der GSI beginnen.

Der Aufbau wird dann mit der speziell für die Laserspektroskopie entworfenen Penning-Falle [2, 3] ausgerüstet. In diese Falle werden die niederenergetischen, hochgeladenen Ionen aus HITRAP transferiert, um dann eine präzise laserspektroskopische Messung der Energie der Grundzustands-Hyperfeinaufspaltung durchzuführen. Die $M1$ -Hyperfein-Übergänge werden entlang der Fallennachse durch Laserlicht angeregt, und die zugehörige Fluoreszenz wird senkrecht dazu detektiert. Hierfür ist die "split coil"-Konfiguration des supraleitenden Magneten wichtig, die erst einen radialen optischen Zugang ermöglicht. Die erwartete energetische Auflösung $\Delta E/E$ ist von der Größenordnung 10^{-7} und erlaubt, angewendet auf H- und Li-artige Bismut-Ionen (Bi^{82+} und Bi^{80+}), einen Test der QED gebundener Zustände auf dem Prozent-Niveau [4, 5].

Die Penningfalle wurde an der GSI vergoldet und zusammengebaut. Ein Photo der Falle ist in Abb. 1 zu sehen. Die Ringelektrode ist als Gitter realisiert, um den Photonnachweis in radialer Richtung zu ermöglichen. Um die Energie der Ionen durch Widerstandskühlen zu reduzieren, wird ein resonanter LC-Kreis an die Endelektroden in der kalten Bohrung angebracht. Wir erwarten daher Iontemperaturen von ungefähr 4 K, was einer Dopplerbreite des Hyperfein-Übergangs von nur 10 MHz entspricht. Desweiteren wurde eine Vakuumkammer für die Falle aufgebaut, die mit Fenstern entsprechend der Anordnung im RETrap-Magneten ausgestattet ist. Tests dieser Falle konnten wir am Institut für Kernchemie beginnen, wobei wir in Ermangelung eines geeigneten Magneten die Ionenfalle als reine Paulfalle betreiben. Ziel dieser Experimente ist die Speicherung und Spektroskopie von Kalziumionen um den Betrieb der Falle zunächst an einfachen Systemen zu testen.

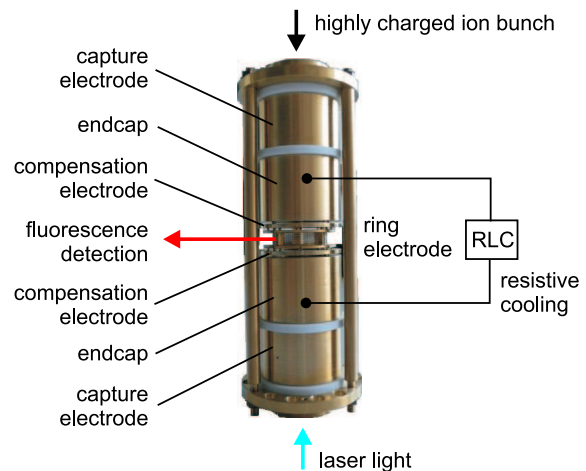


Figure 1: Photo der Penningfalle für die Laserspektroskopie.

References

- [1] T. Beier *et al.*, Nucl. Instr. Meth. B **235**, 473 (2005).
- [2] D.F.A. Winters *et al.*, Nucl. Instr. Meth. B **235**, (2005) 201.
- [3] M. Vogel *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **76**, 103102 (2005).
- [4] V.M. Shabaev *et al.*, Phys. Rev. Lett. **86**, 3959 (2001).
- [5] D.F.A. Winters *et al.*, Can. J. Phys. (2006) *in press*.