

# Laserspektroskopie an hochgeladenem $^{209}\text{Bi}^{82+}$ und $^{209}\text{Bi}^{80+}$ : Stand der Auswertung und Limitierung durch systematische Ungenauigkeiten

Ch. Geppert<sup>1,2</sup>, M. Lochmann<sup>3</sup>, R. Sanchez<sup>4</sup>, W. Nörtershäuser<sup>1,3,4</sup>  
für die „LIBELLE“ (GSI:E083)-Kollaboration

<sup>1</sup>Institut für Kernphysik, Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Germany;

<sup>2</sup>Helmholtz-Institut Mainz, Germany;

<sup>3</sup>Institut für Kernchemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Germany;

<sup>4</sup>Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (GSI), Darmstadt, Germany;

Die QED gilt allgemein als genaueste fundamentale Theorie der Physik. Direkte Vergleiche von Experiment und Theorie, beispielsweise zum g-Faktor des freien Elektrons, zeigen Übereinstimmungen auf dem Niveau von  $<10^{-9}$ . Diese Vergleiche beziehen sich jedoch alle auf das Regime in schwachen magnetischen Feldern; eine Validierung der Theorie in moderaten Feldern hingegen steht mit Ausnahme von wenigen Messungen aus jüngster Zeit [1] aus. Die stärksten magnetischen Felder auf der Erde wirken auf die kernnahen Elektronen von wasserstoff-ähnlichem  $^{209}\text{Bi}^{82+}$  und lithium-ähnlichem  $^{209}\text{Bi}^{80+}$ .

Durch eine Messung der Hyperfeinstruktur(HFS)-Aufspaltung dieser beiden Spezies im Vergleich mit theoretischen Berechnungen lässt sich der vorausgesagte QED-Beitrag in diesen starken magnetischen Feldern validieren. Die Unsicherheit in den theoretischen Berechnungen durch eine nicht ausreichend bekannte Kern-Magnetisierungsverteilung von  $^{209}\text{Bi}$  kann durch geeignete Subtraktion der Effekte beider Ladungszustände in Theorie und Experiment kompensiert werden [2]. Nach mehreren erfolglosen Strahlzeiten ist es nach verschiedenen Verbesserungen der experimentellen Aufbauten in einer Strahlzeit an der GSI im August 2011 erstmals gelungen, direkt den HFS-Übergang in lithium-ähnlichem Bismuth zu beobachten und zu vermessen [siehe KCh-Jahresbericht 2011].

Für die Auswertung muss im Nachgang die beobachtete Resonanzwellenlänge aus dem Laborsystem in das Ruhesystem des fliegenden Ions übersetzt werden. Dabei muss die Geschwindigkeit des mit ca. 71% der Lichtgeschwindigkeit fliegenden Ions möglichst genau bestimmt werden. Sie wird von der Geschwindigkeit der Elektronen im Elektronenkühler des ESR-Speicherrings festgelegt und damit von der an diesem angelegten Beschleunigungsspannung für die Elektronen.

Während Nebeneffekte, wie beispielsweise Raumladungseffekte im Elektronenkühler, zur Unsicherheit der effektiven Beschleunigungsspannung nur mit 4,2V beitragen [entspricht 20 ppm der gesamten Beschleunigungsspannung], wird die Gesamtunsicherheit von 244 V (entspricht rund 1100 ppm) durch eine unzureichende primäre Spannungsbestimmung dominiert. Hierzu wird üblicherweise ein 2001 von der PTB kalibrierter Spannungsteiler an der GSI verwendet, der nur bis 130 kV einsetzbar ist. Diese Kalibration muss dann auf die in der Strahlzeit verwendete Spannung von 213890 V extrapo-

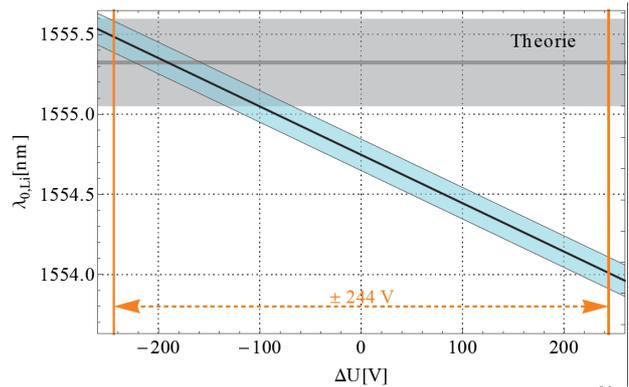


Abbildung 2: Bestimmung der Ruhewellenlänge für  $\text{Bi}^{80+}$  als Funktion eines unbekanntem Spannungs-Offsets (diagonales Band). Weitere Erläuterungen im Text.

liert werden, was mit einer entsprechend großen Unsicherheit einhergeht. Abgesehen von der Ungenauigkeit durch die Extrapolation trägt die genannte Unsicherheit auch möglichen Alterungseffekten des Spannungsteilers Rechnung.

Das Ergebnis in der Ruhewellenlängenbestimmung von  $\text{Bi}^{80+}$  ist in Abb. 2 dargestellt. Unter der Annahme, dass Vorgängerexperimente an wasserstoff-ähnlichem Bismuth [3] korrekt sind, wurden von Volotka und Mitarbeitern (TU Dresden) die Ruhewellenlänge für lithium-ähnliches Bismuth vorausgesagt. Diese sind in Abb. 2 als horizontale Linie mit experimentbasierter Unsicherheit dargestellt. Die große Unsicherheit der Elektronen-Beschleunigungsspannung (orangener Fehlerbereich) vereitelt einen genauen Test des QED-Anteils in den Berechnungen.

Da mit der Strahlzeit 2011 gezeigt wurde, dass der Übergang an lithium-ähnlichem Bismuth gemessen werden kann und die grobe Wellenlänge nun bekannt ist, ist eine Wiederholung der Strahlzeit an der GSI unter der Prämisse frisch und direkt bis 200 kV kalibrierter Hochspannungsnetzgeräte derzeit unter Diskussion.

*Danksagung: M.L. acknowledges support from GP-HIR via HGS-HIRE. Diese Arbeit wurde unterstützt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, Vertrag-Nr 06MZ9179I).*

Referenzen:

- [1] A. Wagner et al., PRL 110, 033003 (2013)
- [2] V.M. Shabaev et al., PRL 86, 3959 (2001)
- [3] I. Klaft et al., PRL 73, 2425 (1994)