

Pressemitteilung

Max-Planck-Institut für Kernphysik

Dr. Bernold Feuerstein

25.03.2025

<http://idw-online.de/de/news849524>

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Physik / Astronomie
überregional



Ein neuer Bezugswert für die Quantenelektrodynamik in Atomen

Der g-Faktor von borähnlichen Zinn-Ionen wird mit einer Messunsicherheit von nur 0,5 Teilen pro Milliarde bestimmt. Die zweite hochpräzise Messung für ein borähnliches System im Grundzustand überhaupt setzt einen neuen Bezugswert für die Quantenelektrodynamik sowie für die Mehrelektronen-Wechselwirkung in schweren Systemen. Kombiniert man die neuen Ergebnisse mit der jüngsten Messung des Elektronen-g-Faktors von wasserstoffähnlichem Zinn, so ergibt sich die Möglichkeit einer unabhängigen Bestimmung der Feinstrukturkonstante α .

Hochgeladene schwere Ionen bilden ein sehr geeignetes Experimentierfeld für die Untersuchung der Quantenelektrodynamik (QED), der am besten geprüften Theorie der Physik, welche alle elektrischen und magnetischen Wechselwirkungen von Licht und Materie beschreibt. Eine zentrale Eigenschaft des Elektrons im Rahmen der QED ist der so genannte g-Faktor, der genau charakterisiert, wie sich das Teilchen in einem Magnetfeld verhält. Kürzlich hat die ALPHATRAP-Gruppe um Sven Sturm in der Abteilung von Klaus Blaum am Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) in Heidelberg den g-Faktor von wasserstoffähnlichen Zinn-Ionen mit einer Genauigkeit von 0,5 Teilen pro Milliarde bestimmt. Das ist so, als würde man die Strecke Köln-Frankfurt auf die Dicke eines menschlichen Haares genau messen. Dies stellt einen strengen Test der QED für das einfachste atomare System dar, ähnlich wie gewöhnlicher Wasserstoff, aber mit einem viel höheren elektrischen Feld, das das Elektron aufgrund der Ladung von 50 Protonen im Zinnkern erfährt.

In einer neuen Studie haben die Forschenden hochgeladene borähnliche Zinn-Ionen mit nur fünf verbleibenden Elektronen untersucht. Ziel ist die Untersuchung der interelektronischen Effekte in der borähnlichen Konfiguration. Bislang wurde der einzige borähnliche g-Faktor mit hoher Präzision für Argon-Ionen mit einer Protonenzahl Z von 18 gemessen. Der Kern ist jedoch keine Punktladung wie das Elektron und seine Ladungsverteilung führt zu Korrekturen durch die endliche Kerngröße - eine weitere Herausforderung für Präzisionsexperimente.

Für die Messung wurde ein $^{110}\text{Sn}^{50+}$ -Ion in der ALPHATRAP-Ionenfalle gespeichert. „Dank der langen Lagerungszeit von etwa 40 Tagen können wir den g-Faktor mit bisher unerreichter Präzision messen“, sagt Postdoc Jonathan Morgner „Durch die Kombination des neuen Ergebnisses mit bereits vorhandenen Daten für wasserstoffähnliches Zinn können wir die Korrekturen der endlichen Kerngröße eliminieren.“ Das neue Ergebnis für den g-Faktor von $^{110}\text{Sn}^{50+}$ ist $0.644\,703\,826\,5(4)$, wobei die Messunsicherheit in Klammern angegeben ist.

Zum Vergleich mit dem experimentellen Wert berechneten Physiker der Theorieabteilung von Christoph Keitel am MPIK den g-Faktor von $^{110}\text{Sn}^{50+}$. „Unser ausgereifter ab-initio-QED-Ansatz berücksichtigt auch die Effekte der Elektronenkorrelation sowie die endliche Kerngröße“, erklärt Matteo Moretti. Die Korrekturen der endlichen Kerngröße heben sich in der Nähe von $Z = 54$ auf, so dass diese Unsicherheit bei $Z = 50$ gering ist. Die theoretische Vorhersage für den g-Faktor von $0,644\,702\,9(8)$ stimmt mit dem experimentellen Wert überein.

Das im Vergleich zur theoretischen Vorhersage um einen Faktor 2000 genauere Experiment ist ein Maßstab für künftige Fortschritte in der atomaren QED. Als entscheidender Datenpunkt für borähnliche Systeme bei mittleren Kernmassen

demonstriert es das Potenzial einer kompetitiven Bestimmung der Feinstrukturkonstante α , einer fundamentalen Größe, die die Stärke der elektromagnetischen Kräfte im gesamten Universum bestimmt. Optimal für künftige Experimente ist borähnliches Xenon ($Z = 54$), für das die Korrekturen der endlichen Kerngröße minimal sein dürften. Auf theoretischer Seite besteht die künftige Herausforderung darin, die Berechnungen zu verbessern, um die experimentelle Präzision zu erreichen.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Dr. Jonathan Morgner
MPI für Kernphysik Heidelberg
Tel.: (+49)6221 516-674
jonathan.morgner@mpi-hd.mpg.de

PD Dr. Zoltan Harman
MPI für Kernphysik Heidelberg
Tel.: (+49)6221 516-170
harman@mpi-hd.mpg.de

Originalpublikation:

g Factor of Boron-like Tin
J. Morgner, B. Tu, M. Moretti, C. M. König, F. Heiße, T. Sailer, V. A. Yerokhin, B. Sikora, N. S. Oreshkina, Z. Harman, C. H. Keitel, S. Sturm and K. Blaum
Physical Review Letters 134, 123201 (2025).
DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.134.123201>

URL zur Pressemitteilung: <https://www.mpi-hd.mpg.de/mpi/de/forschung/abteilungen-und-gruppen/gespeicherte-und-gekuehlte-ionen/forschung/pentatrap-PENTATRAP-Experiment-am-MPIK>

URL zur Pressemitteilung: <https://www.mpi-hd.mpg.de/mpi/de/forschung/abteilungen-und-gruppen/theoretische-quantendynamik-und-quantenelektrodynamik/ionic-quantum-dynamics-and-high-precision-theory> Gruppe 'Ionic Quantum Dynamics and High-Precision Theory' am MPIK

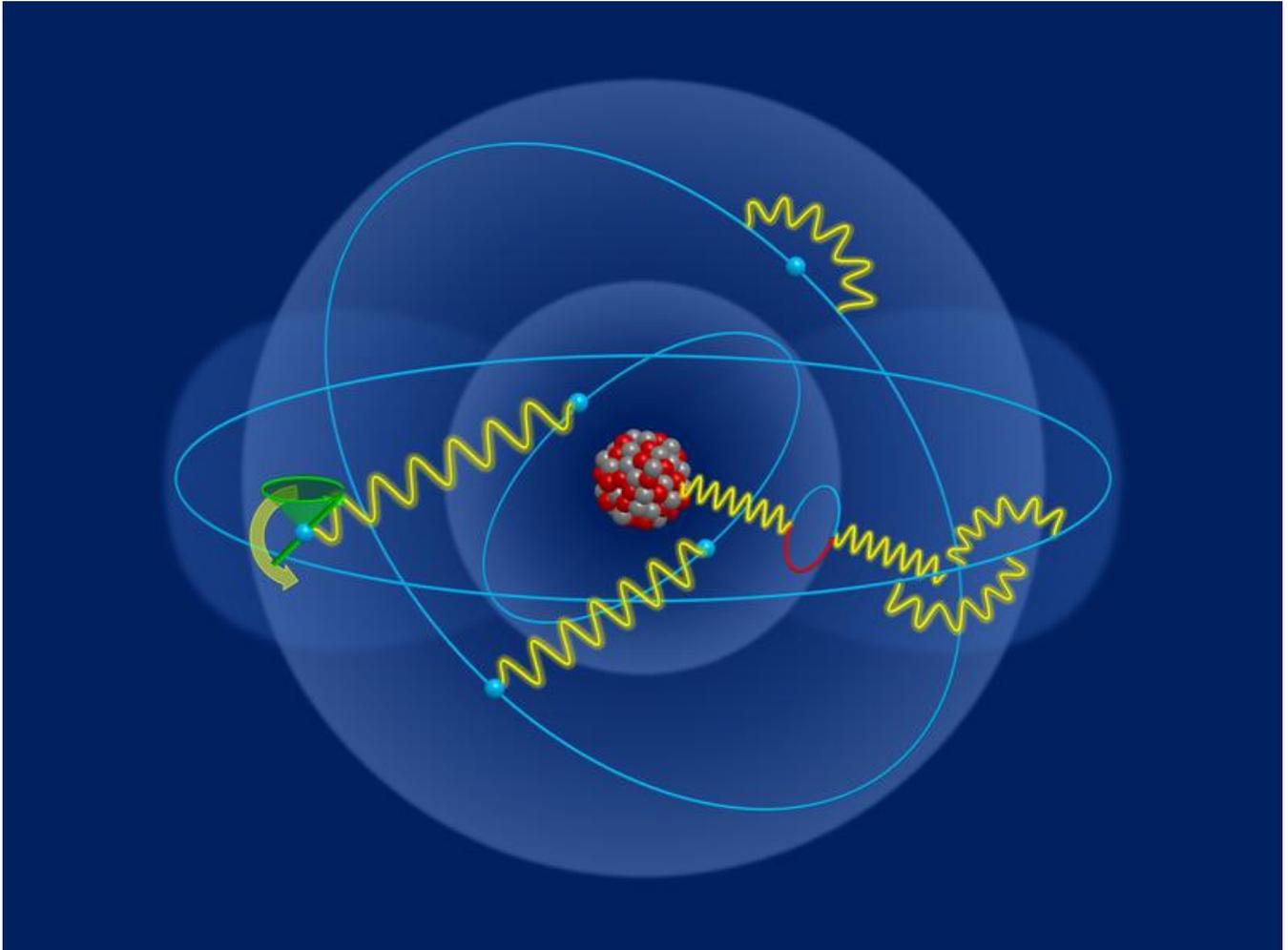


Abbildung 1: Schematische Darstellung der QED-Wechselwirkungen in borähnlichen Zinn-Ionen.
MPIK für Kernphysik