

Resonanzionisationspektroskopie zur Bestimmung der Hyperfeinstrukturaufspaltung in ^{229}Th

S. Raeder, V. Sonnenschein⁺, A. Hakimi, N. Trautmann^{*}, K. Wendt
Institut für Physik, ^{*}Institut für Kernchemie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
⁺ University of Jyväskylä, Finland

Für das Thoriumisotop ^{229}Th ($T_{1/2} = 7880$ a, $I = 5/2^+$) ist ein isomeres Zustand $^{229\text{m}}\text{Th}$ ($I = 3/2^+$) vorhergesagt, welcher eine Anregungsenergie von nur 7.6(5) eV besitzt. Dies würde mit Abstand dem niedrigsten bekannten Kernzustand entsprechen. Da diese Anregungsenergie im Bereich von Anregungen in der Elektronenhülle liegt, ist der zweifelsfreie Nachweis dieses isomeren Zustands für viele grundlegende wie auch angewandte Fragestellungen von höchstem Interesse. Die Existenz dieses Zustandes konnte bisher nur indirekt über die energetische Differenz verschiedener Zerfallskanäle des angeregten ^{229}Th Kerns bestimmt werden [1]. Ein direkter Nachweis des Zustands, z.B. durch Beobachtung der optischen Fluoreszenz beim Zerfall in den Grundzustand, oder durch direkte Anregung dieses Zustandes war bisher nicht erfolgreich. Die Lebensdauer des isomeren Zustandes wurde aus einer Extrapolation eines ähnlichen isomeren Zustandes in ^{233}U zu 1-5 Stunden abgeschätzt [2], kann jedoch durch strahlungslose Konversionsprozesse möglicherweise stark reduziert sein. Das Isomer $^{229\text{m}}\text{Th}$ entsteht bei dem α -Zerfall von ^{233}U ($T_{1/2} = 1.59 \times 10^5$ a) mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 2 % [3], was aktuell der vielversprechendste Produktionsprozess für eine direkte Beobachtung des isomeren Zustandes darstellt. In der Universität Jyväskylä steht eine ^{233}U -Rückstoßquelle zur Verfügung, aus welcher die Zerfallsprodukte $^{229\text{g}}\text{Th}$ und $^{229\text{m}}\text{Th}$ als Ionen extrahiert werden sollen [4]. Diese sollen dann einer kollinearen Spektroskopie zugeführt werden, wobei durch eine hochauflösende optische Anregung mit Fluoreszenznachweis der isomere Kernzustand über seine Hyperfeinstruktur nachgewiesen

werden kann. Diese unterscheidet sich durch den abweichenden Kernspin und Änderungen in der Ladungsverteilung von derjenigen des Kerngrundzustandes $^{229\text{g}}\text{Th}$.

In Vorbereitung dieses spektroskopischen Nachweises wurde in Mainz in Zusammenarbeit mit der Universität Jyväskylä mit der Untersuchung der Hyperfeinstrukturaufspaltung des atomaren Thoriums begonnen. Hierzu wurde der im Institut für Physik entwickelte geseedete und injection-locked nanosekunden Ti:Saphirlaser [5] eingesetzt, um durch die schmale spektrale Bandbreite die Hyperfeinstruktur auflösen zu können. Zur Ionisation wurde die hohe Leistungsdichte der zur Verfügung stehenden breitbandigen gepulsten Ti:Saphirlaser eingesetzt. Um die auftretende Dopplerbreite zu reduzieren wurde in diesen Messungen die Laserstrahlung transversal zu dem Atomstrahl aus dem resistiv geheizten Ofen überlagert. Das für diese Messungen eingesetzte Massenspektrometer MABU ist in Abbildung 1 zusammen mit den Laserstrahlengängen dargestellt.

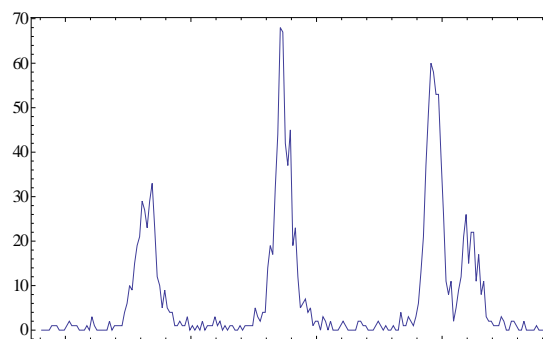


Abbildung 2: gemessene Hyperfeinaufspaltung in ^{229}Th

Für drei optische Anregungslinien eine Auflösung einiger der Hyperfeinstrukturkomponenten beobachtet werden. Abbildung 2 zeigt das gemessene HFS-Spektrum des optischen Übergangs $0 \text{ cm}^{-1} (J=2) \rightarrow 38\,278 \text{ cm}^{-1} (J=1)$ von $^{229\text{g}}\text{Th}$. Es konnten nicht alle der neun erwarteten Linien aufgelöst werden. Die genaue Auswertung, sowie die Extraktion atom- und kernphysikalischer Größen, wird aktuell durchgeführt.

Literatur:

- [1] Beck B.R et al., Phys. Rev. Lett., 98, 142 501 (2007)
- [2] Helmer R.G. et al. Phys. Rev. C, 49(4), 1845–1858 (1994)
- [3] Kikunaga et al., H Phys. Rev. C, 80,034 315 (2009)
- [4] Tordoff B. et al., Nucl. Instr. Meth. B, 252, 347–353 (2006)
- [5] Kessler T. et al., Laser Phys., 18(7), 842–849 (2008)

Acknowledgement

Die Arbeiten wurden von der Universität Jyväskylä und der Universität Mainz finanziell unterstützt.

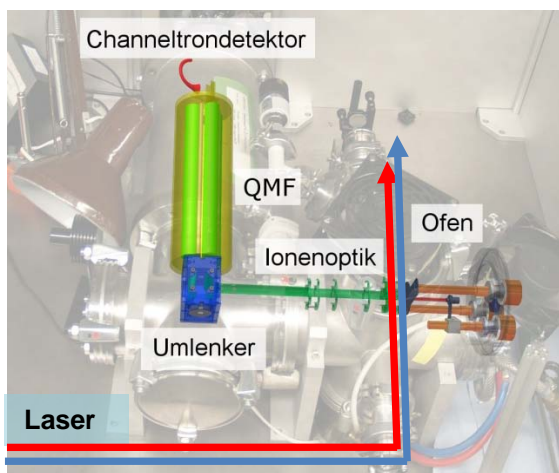


Abbildung 1: Massenspektrometer MABU mit Laserstrahlengängen für die hochauflösende Spektroskopie an ^{229}Th