

Optische Spektroskopie an Fermium (Z=100)

H. Backe¹, A. Dretzke¹, K. Eberhardt², S. Fritzsche⁴, C. Grüning², R.G. Haire⁵, T. Kolb¹, J.V. Kratz²
G. Kube¹, P. Kunz³, J. Lassen³, W. Lauth¹, G. Passler³, P. Schwamb¹, M. Sewtz¹, P. Thörle², N. Trautmann²

¹Institut für Kernphysik, ²Institut für Kernchemie und ³Institut für Physik, Universität Mainz;
⁴Fachbereich Physik, Universität Kassel; ⁵ORNL, Oak Ridge, USA

Erstmals wurde optische Spektroskopie an einem Transuranelement durchgeführt, für das keinerlei spektroskopische Informationen vorlagen. Das Isotop ²⁵⁵Fm ($T_{1/2}=20.1$ h) des Elements Fermium mit der Ordnungszahl $Z=100$ wurde im Hochfluss-Reaktor am ORNL, Oak Ridge, USA, erbrütet. Am Institut für Kernchemie der Universität Mainz wurden geeignete Filamente hergestellt, die in eine mit Argon-Puffergas gefüllte optische Zelle einer IGRIS-Apparatur [1] eingebracht wurden, mit der Resonanzionisationsspektroskopie mit hoher Empfindlichkeit möglich ist. Das bei einer Temperatur von ca. 1000 °C atomar verdampfte Fermium wurde mit Laserlicht in einem Zweistufenprozess resonant ionisiert und die Ionen nach einem Quadrupolmassenfilter mit einem Channeltron-Detektor massenselektiv nachgewiesen. Trotz der geringen Probenmenge von $2.7 \cdot 10^{10}$ eingesetzten Atomen konnten zwei atomare Resonanzen bei Energien von 25099.80 ± 0.04 cm⁻¹ und 25111.80 ± 0.04 cm⁻¹ [2] gefunden werden.

Zur Klassifizierung dieser beiden Fm-Niveaus wurden Multiconfiguration Dirac-Fock (MCDF) Rechnungen [3] herangezogen. Sie ergeben für den Grundzustand die Konfiguration $5f^{12}7s^2 \ ^3H_6$. Für die ersten angeregten Zustände mit ausreichenden Übergangswahrscheinlichkeiten für Laseranregung wurde ein Doublet bei den Niveau-Energien von 25226 cm⁻¹ und 25471 cm⁻¹ vorhergesagt. Die Niveaus besitzen die Konfiguration $5f^{12}7s7p$ und entsprechend die Quantenzahlen $J^P=6^-$ bzw. 5^- . Die absolute Energie dieser Übergänge ist in bemerkenswert guter Übereinstimmung mit den beobachteten Niveau-Energien. Weiterhin sagen die Berechnungen ein Triplet mit $J^P=6^-, 5^-, 7^-$ bei Energien von 27394 cm⁻¹,

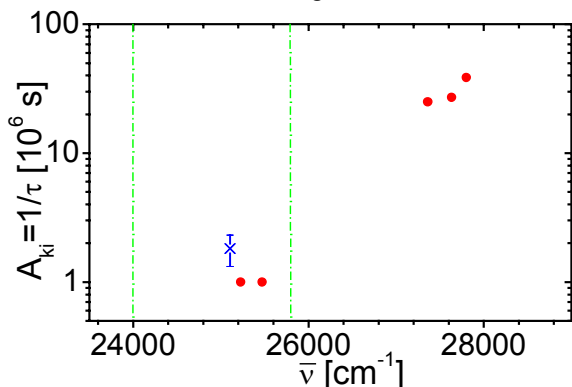


Abbildung 1. Übergangsraten A_{ki} der berechneten (•) und der beobachteten (x) Linien als Funktion der Wellenzahl. Aufgrund der Skalierung fallen beide experimentellen Datenpunkte zusammen. Die Grenzen des Scan-Bereichs sind durch vertikale strichpunktierte Linien gekennzeichnet.

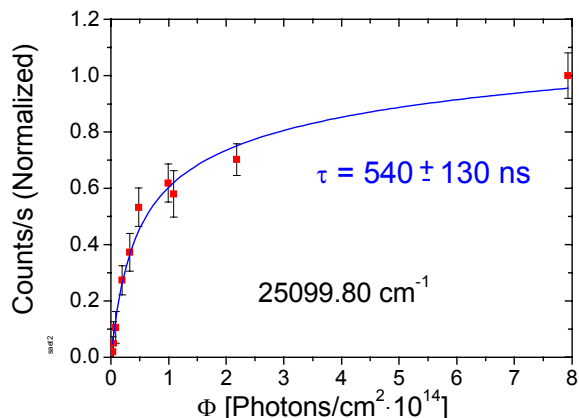


Abbildung 2. Zählrate in Resonanz (25099.80 cm⁻¹) als Funktion des Photonenflusses Φ . Daraus wurde die Lebensdauer τ bestimmt.

27633 cm⁻¹ bzw. 27802 cm⁻¹ voraus, die über 2000 cm⁻¹ von den beobachteten Energien abweichen, siehe Abb.1.

Zusätzliche Informationen zur Klassifizierung der Niveaus können aus den partiellen Lebensdauern $\tau=1/A_{ki}$ der Niveaus für den Zerfall in den Grundzustand erhalten werden. Dazu wurde für beide Übergänge über Variation des Photonenflusses Φ des 1. Anregungsschrittes das Sättigungsverhalten gemessen, siehe Abb. 2, aus dem die Lebensdauer τ bestimmt werden kann. Sie ergibt sich in beiden Fällen zu $\tau \approx 550$ ns.

Theoretische Berechnungen der partiellen Lebensdauern mit MCDF-Rechnungen ergeben für die beiden Übergänge $\tau \approx 1$ μ s und sind ebenfalls in guter Übereinstimmung mit den experimentellen Befunden. Für das Triplet wurde dagegen $\tau < 40$ ns berechnet. Die Lebensdauerermessungen erhärten daher die oben vorgeschlagene Klassifizierung.

Aus der Bedingung $\bar{\nu}_1 + \bar{\nu}_2 + E_{th} \geq IP$ lässt sich eine Obergrenze der Ionisationsenergie von Fm abschätzen, wobei $\bar{\nu}_1=25112$ cm⁻¹ die Energie des 1. Anregungsschrittes und $\bar{\nu}_2=28490$ cm⁻¹ des 2. Schrittes bezeichnen. Aufgrund der thermischen Energie der Puffergasatome von $E_{th} \approx 300$ cm⁻¹, die durch Stöße übertragen werden kann, ergibt sich $IP \leq 53900$ cm⁻¹ $\hat{=} 6.7$ eV. Dies ist konsistent mit Rechnungen, die $IP=52400$ cm⁻¹ $\hat{=} 6.5$ eV [4] vorhersagen.

- [1] H. Backe et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. **B 126**, 406 (1997);
- [2] H. Backe et al., Jahresbericht 2000 IKMZ **2001-1**, A2 (2001);
- [3] F.A. Parpia et al., Comput. Phys. Commun. **94**, 249 (1996)
- [4] J. Sugar, J.Chem. Phys. **59**, 788 (1973)