

Diss. ETH 9198

DISS. ETH Nr. 9198

MESSUNG DER NIVEAUBREITE UND NIVEAUVERSCHIEBUNG VON 3D ZU-
STAENDEN IN PIONISCHEN ATOMEN DURCH DIE STARKE WECHSELWIRKUNG

A B H A N D L U N G

zur Erlangung des Titels
Doktor der Naturwissenschaften

der
EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

STEPHAN THOMANN
Dipl. Phys. ETHZ

geboren am 8. Juni 1959
von Pfaefers (SG)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Ralph Eichler, Referent
Prof. Dr. Hans Hofer, Korreferent
Dr. Pieter F. A. Goudsmit, Korreferent

1990



Abstract

In this report three experiments are described on the determination of the strong interaction effects on the 3d levels in pionic magnesium and -calcium (both isoscalar nuclei).

Section one describes a measurement of the coincidence between the 4f-3d and 3d-2p transition in pionic magnesium. The aim of this experiment was a determination of the strong absorptive width $\Gamma_s(3d)$ of the 3d level. The experiment was carried out with solid state X-ray detectors and resulted in a lower limit $\Gamma_s(3d) > 0.074(18)\text{eV}$. This value is almost an order of magnitude larger than that (0.01eV) calculated with the standard optical potential. A possible explanation of this unexpected result is given. A small admixture to the 3d level of the nearby 3p level with its large strong absorptive width (25eV) is shown to be possible, in principle, via a resonance with electronic states in the partly ionized magnesium atom. If confirmed by a future experiment with high accuracy, this experiment would indicate that the mass of the charged pion is higher by approximately 19ppm than the value published by Jeckelmann et al [Jec 86]. The reason being that in the analysis of [Jec 86] an arbitrariness in the electronic K-shell occupation probability was removed under the assumption that the strong absorptive width of the 3d level equals the theoretical value of 0.01eV allowing for a (at that time generous) possible deviation of $\pm 100\%$.

In section two a determination of the occupation of the electronic K-levels during the 5g-4f transition in pionic 40-Ca is described. This measurement - needed for the analysis of the experiment of section three - was carried out with a high resolution crystal spectrometer. The spectrometer was equipped in this experiment for the first time with a germanium detector. The high resolution of this detector - in comparison with the conventional NaI-CsI "phosich" system - resulted in a strong suppression of the background, needed for this experiment. From the results of this measurement the occupation probability of the electronic K levels during the subsequent 4f-3d transition was determined as $a=0.8(2)$.

The above result is used in section three, where the strong shift $\epsilon_s(3d)$ in pionic 40-Ca is determined from a measurement of the 4f-3d transition energy. Also this measurement was performed with the crystal spectrometer in order to obtain the required high accuracy. In this way it has been possible - for the first time - to measure a strong 3d shift in a nucleus below $Z=40$ ($Z=20!$). We obtained $\epsilon_s(3d)=3.88(56)\text{eV}$ to be compared with the theoretical value of 2.78(20)eV. A still better agreement would be obtained if a π^- -mass being higher than that of [Jec 86] by 19ppm were assumed. In this case the experimental value would be $\epsilon_s=2.80(55)\text{eV}$, the theoretical value remaining essentially unchanged.

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschreibt drei verschiedene Experimente zur Bestimmung der starken Wechselwirkung in 3d Zuständen von pionischem ^{24}Mg und pionischem ^{40}Ca , beides Kerne mit $N=Z$. Entsprechend gliedert sich der Bericht in drei Teile. Der erste beschreibt die Messung der starken Breite im 3d Zustand des pionischen Magnesiums mit einer Koinzidenzmessung der Röntgenübergänge 4f-3d-2p mit Germaniumdetektoren. In dieser Messung wurde für die Absorptionsbreite $\Gamma_s(3d)$ eine untere Schranke von 0.074(18)eV gefunden, also fast eine Grössenordnung mehr als nach der Theorie erwartet wird (0.01eV). Für dieses überraschende Resultat, das auch einen Hinweis auf eine um 19ppm höhere Pionenmasse als die in [Jec 86] publizierte ergibt, wird auch eine Erklärungsmöglichkeit gegeben, nämlich eine Mischung mit dem durch die starke Absorption wesentlich verbreiterten 3p-Zustand, und zwar über eine mögliche Resonanz mit der Elektronenhülle des teilweise ionisierten pionischen Magnesiums. Die höhere Pionenmasse ergibt sich dabei aus der Messung von [Jec 86], in der bei einer Doppeldeutigkeit des Messergebnisses eine von zwei Möglichkeiten der elektronischen K-Besetzung ausgeschlossen wurde (in der Annahme, $\Gamma_s(3d)$ habe den theoretischen Wert von 0.01eV, wobei ein grosszügiger Fehler von $\pm 100\%$ verwendet wurde).

Der zweite Teil, als Vorbereitung zum dritten, behandelt die Messung der Elektronenbesetzung während des Überganges 5g-4f im Calcium. Diese Messung wurde mit dem hochauflösenden Pion-Kristallspektrometer ausgeführt und ergibt Rückschlüsse über die K-Elektronenabschirmung beim nachfolgenden 4f-3d Übergang. Die erstmalige Verwendung eines hochauflösenden Germaniumdetektors im Spektrometer erlaubte es, den Untergrund soweit zu unterdrücken, dass dieser Übergang sichtbar wurde. Für die K-Elektronenbesetzung während des folgenden (4f-3d)-Übergangs konnte so ein Wert von 0.8(2) festgelegt werden.

Der dritte Teil beschreibt die Bestimmung der starken Verschiebung im 4f-3d Übergang, wo die Elektronenabschirmung eine Korrektur von maximal 40% ausmacht, die mit Hilfe der zweiten Messung wesentlich reduziert wurde. Diese Messung wurde ebenfalls am Kristallspektrometer ausgeführt, um die Messgenauigkeit und Auflösung zu erreichen, und zwar mit dem selben Messaufbau. Es ist hier erstmals gelungen diese Verschiebung für einen Kern mit einer Kernladung $Z < 40$ zu bestimmen ($Z=20!$). Das Ergebnis stellt deshalb eine wichtige Erweiterung der 3d-Daten zu niedrigeren Kernmassen dar. Für den Wert der starken Verschiebung ergibt sich ein Wert von 3.88(56)eV, der zu vergleichen ist mit dem theoretischen Wert von 2.78(20)eV. Unter der Annahme, dass die Pionenmasse um 19ppm höher ist als der in [Jec 86] angegebene, ergibt sich sogar eine noch bessere Übereinstimmung. In diesem Fall wird der experimentelle Wert für ϵ_0 zu 2.80(55)eV bestimmt, währenddem der theoretische Wert mit 2.79(20)eV praktisch unverändert bleibt.