

## Abstract

This doctoral thesis presents the results of two recent experiments employing complementary techniques, which are commonly used in modern nuclear structure research with radioactive ion beams.

The experiment presented in the first part of this work was conducted in June 2012 at the Radioactive Ion Beam Factory of the RIKEN Nishina Center in Wako-shi, Japan. It aimed at the isomer and particle spectroscopy of excited states and ground states in the mass region below the doubly magic nucleus  $^{100}\text{Sn}$  and used projectile fragmentation of a 345 MeV/u  $^{124}\text{Xe}$  beam on a  $^9\text{Be}$  target to create the nuclei of interest. The fragments were separated and identified in the BigRIPS separator and transported to the EURICA array to perform decay spectroscopy after implantation in the active stopper SIMBA.

Results on the half-lives of the  $(7^+)$  isomer and the  $(0^+)$  ground state are presented. The latter decays via a super-allowed Fermi  $\beta^+$ -decay for which a  $Q_{EC}$  value could be obtained for the very first time. The analysis of the  $\beta$ -energy spectra involved simulations of the complex detector system in order to account for the detector response.

From the same data set, previously unknown half-lives for the  $(37/2^+)$  and  $(23/2^+)$  isomers in the neighbouring isotope  $^{95}\text{Ag}$  were determined. In the case of the  $(23/2^+)$  spin-gap isomer, this was achieved by analysing the time-distribution of conversion electrons.

Additionally, the decay of the proton drip line nucleus  $^{93}\text{Ag}$  is discussed based on the observed implantation-decay correlation events.

In the second part of this thesis, a fast-beam experiment performed in October 2010 within the PreSPEC campaign is presented. The aim of this study was to determine the quadrupole collectivity and to identify the lowest mixed-symmetry state in the neutron rich  $^{88}\text{Kr}$  by using relativistic Coulomb excitation with a Rare Isotope Beam. A  $^{238}\text{U}$  primary beam at 650 MeV/u was provided by the GSI Darmstadt accelerator complex. The isotopes  $^{84}\text{Kr}$  and  $^{88}\text{Kr}$  were produced by in-flight fission on a  $^9\text{Be}$  primary target and separated by the FRagment Separator FRS.

Absolute transition rates for the  $2_1^+$  and  $2_3^+$  states in  $^{88}\text{Kr}$  could be obtained and are presented. The latter state is identified as having mixed symmetry character by a strong M1 transition strength to the first excited  $2^+$  state. This measurement is therefore the first identification of a mixed symmetry state using a radioactive beam.

## Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden zwei kürzlich durchgeführte Experimente vorgestellt, in denen unterschiedliche Techniken der modernen Kernstrukturphysik mit radioaktiven Ionenstrahlen angewandt wurden.

Das Experiment, welches im ersten Teil dieser Arbeit vorgestellt wird, wurde im Juni 2012 an der Radioactive Ion Beam Factory des RIKEN Nishina Center in Wako-shi, Japan, durchgeführt. Das Ziel dieses Experimentes war es, Teilchen- und  $\gamma$ -Spektroskopie von angeregten Zuständen und Grundzuständen in der Massenregion unterhalb vom doppelt magischen Kern  $^{100}\text{Sn}$  durchzuführen. Die gewünschten Fragmente wurden durch Projektilfragmentation eines  $^{124}\text{Xe}$  Primärstrahls auf einem  $^9\text{Be}$  Target bei einer Energie von 345 MeV/u erzeugt. Diese Fragmente wurden mittels des BigRIPS Spektrometers separiert, identifiziert und schließlich zum EURICA Aufbau geleitet, wo sie in den SIMBA-Detektor implantiert wurden um die Zerfallspektroskopie durchzuführen.

Dabei konnten Halbwertszeiten für den Zerfall des ( $7^+$ ) Isomers und des ( $0^+$ ) Grundzustands in  $^{94}\text{Ag}$  ermittelt werden. Der Grundzustand zerfällt über einen übererlaubten Fermi  $\beta$  Zerfall, für welchen zum ersten Mal ein  $Q_{EC}$  Wert bestimmt werden konnte. Für die Analyse des Energiespektrums des  $\beta^+$  Zerfalls mussten Simulationen des Ansprechverhaltens des komplexen Detektorsystems angefertigt werden.

Aus den Daten des selben Experimentes konnten bisher unbekannte Halbwertszeiten eines ( $37/2^+$ )- und eines ( $23/2^+$ )-Isomers im Nachbarkern  $^{95}\text{Ag}$  bestimmt werden. Im Falle des ( $23/2^+$ )-Isomers gelang dies über die Zeitverteilung von Konversionselektronen.

Darüber hinaus wird in diesem Teil der Arbeit das Zerfallsverhalten des Kernes  $^{93}\text{Ag}$ , welcher auf der Protonenabbruchkante liegt, anhand der detektierten Ereignisse behandelt.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wird ein Experiment mit relativistischem radioaktiven Strahl (fast-beam), welches im Oktober 2010 im Rahmen der PreSPEC Kampagne an der GSI Darmstadt durchgeführt wurde, vorgestellt. Das Ziel dieser Studie war die Bestimmung des Grades der Quadrupolkollektivität im Kern  $^{88}\text{Kr}$  und die Identifikation des tieflegendsten gemischt-symmetrischen Zustandes durch relativistische Coulombanregung. Um die gewünschten Fragmente  $^{84}\text{Kr}$  und  $^{88}\text{Kr}$  zu erzeugen, wurde die Kernspaltung eines  $^{238}\text{U}$  Primärstrahls bei einer Energie von 650 MeV/u auf einem  $^9\text{Be}$  Target verwendet. Die entstandenen Primärstrahlfragmente wurden daraufhin durch den FFragment Separator FRS separiert.

Es konnten absolute Übergangsstärken für die Zustände  $2_1^+$  und  $2_3^+$  in  $^{88}\text{Kr}$  ermittelt werden. Dabei konnte der gemischt-symmetrische Charakter des  $2_3^+$  Zustandes über den Nachweis eines starken M1 Übergangs in den ersten angeregten  $2^+$  Zustand bestätigt werden. Dieses Ergebnis stellt den ersten Nachweis eines gemischt-symmetrischen Zustands in einem Experiment mit radioaktivem Strahl dar.