

# The origin of low-lying collective $E1$ and $E2$ strength in atomic nuclei

Inaugural-Dissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität zu Köln

vorgelegt von  
**Mark-Christoph Spieker**  
aus Bielefeld

Berichtersteller: Prof. Dr. Andreas Zilges  
Prof. Dr. Jan Jolie

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Oktober 2016

## Abstract

Different generating mechanisms of collective low-lying electric dipole ( $E1$ ) and quadrupole ( $E2$ ) strengths in atomic nuclei have been studied theoretically and experimentally in the scope of this thesis.

In the first part, the possibility of enhanced  $E1$  strength due to an  $\alpha$ -cluster dipole mode was investigated by means of the *spdf* interacting boson model (IBM) approach to nuclear structure in nuclei with  $A > 40$ . Furthermore, the available data on isoscalar  $E1$  strength were systematically used to compare these data with the predictions for an induced dynamic dipole moment of the  $\alpha$ -cluster mode. The new study helps to answer the long-standing question whether  $\alpha$  clustering generally appears in atomic nuclei.

The second part investigated the influence of the neutron skin on nuclear excitations as well as the general occurrence of quadrupole-octupole coupled two-phonon states in the stable even-even Sn isotopes. Here, two ( $p, p'\gamma$ ) Doppler-shift attenuation (DSA) coincidence experiments were performed at the SONIC@HORUS setup of the Institute for Nuclear Physics at the University of Cologne, Germany. The states of interest were populated in  $^{112,114}\text{Sn}$ . Consequently, their lifetime and  $\gamma$ -decay behavior could be determined. A stringent comparison to theory as well as the complete  $E2$  systematics in the stable Sn isotopes hint at the occurrence of at least two groups of  $J^\pi = 2^+$  states with a completely different structure. The quadrupole-type oscillation of a neutron skin, a so-called pygmy quadrupole resonance (PQR) might be one of these structures. However, the evolution of shell structure in the Sn nuclei has a non-negligible effect on the properties of the  $2^+$  states and the two-phonon  $1^-$  state studied in this thesis.



## Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, Anregungsmoden zu untersuchen, welche kollektive, elektrische Dipolstärke ( $E1$ ) und Quadrupolstärke ( $E2$ ) in Atomkernen hervorrufen können. Dazu wurden sowohl eine theoriebasierte sowie eine experimentelle Herangehensweise gewählt.

Im ersten Teil dieser Arbeit konnten die Auswirkungen einer  $\alpha$ -Cluster-Bildung auf die  $E1$  Stärkeverteilung schwerer Kerne, d.h.  $A > 40$ , untersucht werden. Die theoretischen Vorhersagen, welche in der *spdf* Version des Modells der wechselwirkenden Valenzbosonen (engl.: interacting boson model (IBM)) erhalten wurden, boten die Möglichkeit, die  $\alpha$ -Clustermode als Erzeuger von  $E1$ -Stärke basierend auf den experimentell bekannten  $E1$ -Verteilungen zu testen. Zusätzlich wurde, unter zur Hilfenahme der Informationen über den isoskalaren Anteil der Stärkeverteilung, ein stringenter Vergleich der experimentellen Daten mit dem durch die  $\alpha$ -Clustermode erwarteten dynamischen Dipolmoment angestellt. Die in dieser Arbeit erlangten Ergebnisse zeigen auf, dass die  $\alpha$ -Clustermode zu einer konsistenten Beschreibung der  $E1$ -Systematiken führt und somit das generelle Vorkommen solcher Clusterstrukturen in Atomkernen unterstützt wird.

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurde der Einfluss der Neutronenhaut auf Anregungen des Atomkernes untersucht. Zusätzlich konnte das allgemeine Vorkommen sogenannter quadrupol-oktupol-gekoppelter Zwei-Phononen-Zustände in den stabilen gerade-gerade Sn-Isotopen systematisch studiert werden. Hierzu wurden am Institut für Kernphysik in Köln zwei ( $p, p'\gamma$ ) Koinzidenzexperimente mit der Methode der abgeschwächten Doppellerverschiebung an  $^{112,114}\text{Sn}$  durchgeführt. Der kombinierte Aufbau SONIC@HORUS erlaubte die präzise Bestimmung der Lebensdauer der studierten angeregten Zustände sowie die Extraktion der  $\gamma$ -Zerfallsverhältnisse aus den  $p\gamma$ -Koinzidenzdaten. Ein stringenter Vergleich mit theoretischen Rechnungen zeigte auf, dass die quadrupolartige Schwingung der Neutronenhaut, d.h. eine Pygmyquadrupolresonanz (PQR), tatsächlich eine mögliche Erklärung für die erlangten  $E2$ -Systematiken liefern könnte. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass mindestens zwei verschiedene Ursprünge für  $J^\pi = 2^+$  Zustände vorzuliegen scheinen. Hierbei handelt es sich einerseits um Zustände, welche stark in den Grundzustand zerfallen und andererseits um Zustände, welche nur schwach in den Grundzustand verzweigen. Jedoch ergaben die Studien ebenfalls, dass die Schalenstruktur in den Sn-Isotopen einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die studierten  $2^+$ -Zustände sowie die Zwei-Phononen  $1^-$ -Zustände hat.