

Feasibility Studies of Recoil-Distance
Doppler-shift Experiments at Energies around
 200 MeV/u
and
the Determination of Absolute Transition
Strengths in ^{186}Hg

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

vorgelegt von
Matthias Hackstein
aus Oldenburg (Oldb)

Zusammenfassung

Kernstrukturphysik ist ein spannendes Forschungsgebiet, das durch viele tausend verschiedene Isotope ein vielfältiges und großes Versuchsfeld bietet, auf dem die fundamentalen Eigenschaften der Natur untersucht werden können. Die Messung von Lebensdauern angeregter Kernzustände liefert hierzu eine Observable, die es ermöglicht Rückschlüsse auf die innere Struktur von Atomkernen zu ziehen. Die Recoil-Distance Doppler-shift (RDDS) Methode wurde in der Vergangenheit ausgiebig zur Messung von Lebensdauern angeregter Kernzustände genutzt und ist weiterhin ein wichtiges Instrument auf dem Gebiet der Kernstrukturphysik. Diese Arbeit ist der Weiterentwicklung dieser Methode und ihrer Implementierung an einem weiteren bedeutenden Kernforschungszentrum sowie ihrer Anwendung auf den Fall von ^{186}Hg gewidmet.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein erstes RDDS Experiment mit relativistischen Ionenstrahlen am PRESPEC Aufbau des GSI Helmholtzzentrums für Schwerionenforschung in Darmstadt durchgeführt, um die Realisierbarkeit solcher Experimente unter den dort gegebenen Umständen zu testen. Eine erfolgreiche Implementierung der RDDS Methode am PRESPEC Aufbau würde die Untersuchung exotischer Kerne, die anderweitig nicht zugänglich sind, ermöglichen.

Die Realisierbarkeit solcher Experimente konnte im Prinzip gezeigt werden. Die bekannte Lebensdauer des ersten angeregten Zustands in ^{54}Cr wurde in einem Probelauf reproduziert, wenn auch mit einer hohen Ungenauigkeit. Jedoch wurde ein signifikanter Verlust in der beobachteten Transmission sowie eine Diskrepanz zwischen Teilchen und Teilchen- γ getriggerten Ereignissen festgestellt. Bevor ein derartiges Experiment in Zukunft sinnvoll durchgeführt werden kann, müssen diese Probleme untersucht und behandelt werden und ein Faktor zehn in der Transmission wiederhergestellt werden.

In einem zweiten Teil der Arbeit wurde die RDDS Methode angewandt, um die Kernstruktur von ^{186}Hg zu untersuchen. Es wird angenommen, dass in diesem Isotop zwei unterschiedlich deformierte Banden bei vergleichbaren Energien koexistieren. Die Lebensdauern der Yrastbande bis einschließlich $J = 10\hbar$ wurden gemessen und mit theoretischen Rechnungen verglichen, die den Formalismus des Interacting Boson Models (IBM) in Zusammenhang mit einer Energy Density Functional (EDF) Theorie verwenden. Des Weiteren

ren wurde eine Zweizustandsmischungsrechnung durchgeführt um zu prüfen, ob der Kern ^{186}Hg durch ein Rotationsmodell mit konstanter Deformierung beschrieben werden kann.

Die EDF Rechnungen beschreiben – in Übereinstimmung mit den Ergebnissen dieser Arbeit – zwei Minima in der Potential Energy Surface (PES) mit unterschiedlichen Deformationen. Jedoch stimmen die vorhergesagten Interband-Übergangsstärken dieses Modells nicht gut mit den experimentell beobachteten Werten überein. Eine Zweizustandsmischungsrechnung mit konstanter Deformation kann die experimentellen Daten annäherungsweise beschreiben.

Der dritte Teil dieser Arbeit behandelt den der Analyse von RDDS Experimenten zugrunde liegenden Formalismus. Der Einfluss der Geschwindigkeitsverteilung der untersuchten Kerne auf die bestimmten Lebensdauern wurde im Detail analysiert. Es wurde gezeigt, dass die Geschwindigkeitsverteilung prinzipiell immer die gemessenen Lebensdauern beeinflusst, aber der Effekt in der Regel in einer Größenordnung von wenigen Promille liegt. Der Einfluss wurde analytisch untersucht und spezifische Bedingungen wurden gefunden, unter denen die Geschwindigkeitsverteilung keinerlei Einfluss auf die sich ergebenden Lebensdauer hat, nämlich in den Abstandsbereichen, in denen die Flugkomponente linear beschrieben werden kann.

Abstract

Nuclear structure physics is an exciting field which offers through several thousand different isotopes a vast testing ground to investigate some of the fundamental properties of nature. The measurement of lifetimes of excited nuclear states provides an observable, which allows to derive properties of the inner structure of atomic nuclei. The Recoil-Distance Doppler-shift (RDDS) technique has been used extensively in the past to determine lifetimes of excited nuclear states and continues to be an important tool in the field of nuclear structure physics, as more and more exotic nuclei are accessible to this technique. This work is dedicated to the advancement of this technique, its implementation to an important nuclear physics facility as well as its application to the case of ^{186}Hg .

Within this work, a first RDDS experiment using relativistic ion beams was performed at the PRESPEC set-up at the GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung to test the feasibility of such experiments under the conditions of this set-up. A successful application of the RDDS technique to this kind of experiments would allow lifetime studies in exotic nuclei that are not accessible otherwise.

It was possible to reproduce the known lifetime of the first excited state in ^{54}Cr in a commissioning experiment, albeit with a large uncertainty. Therefore, in principle, the feasibility of these experiment could be shown. However, a significant loss in the observed transmission rate became apparent in the LYCCA array, as well as a discrepancy between particle triggered and particle- γ triggered events. These problems need to be addressed and at least a factor of ten in the observed transmission has to be restored before such experiments can be performed decently.

In a second part of this thesis, the RDDS technique is used to investigate the nuclear structure of neutron deficient ^{186}Hg , where two bands with different properties are assumed to coexist at similar energies. The lifetimes of the yrast band up to $J = 10\hbar$ were measured and compared to theoretical calculations using the formalism of the Interacting Boson Model (IBM) in conjunction with an Energy Density Functional (EDF) model. Furthermore, a two-band mixing calculation was performed to test if these bands in ^{186}Hg can be described with a rotational model and a constant deformation.

The EDF describes two minima in the Potential Energy Surface (PES)

with different deformations, in agreement with the data obtained in this work. However, the experimentally observed transition strengths are not well described by this model.

In addition a two state mixing calculation with a constant deformation was performed. It describes the experimental data approximately.

The third part of this work considers a particular aspect of the analysis of RDDS experiments. The influence of the velocity distribution of the recoils on the resulting lifetimes is investigated in detail. It was found that the velocity distribution affects the measured lifetime, but typically in the order of a few per mille. The effect is analysed analytically and specific conditions were found in which the velocity does not influence the resulting lifetimes, namely for those ranges of distances in which the flight component can be described as linear.