

Eccitazione Coulombiana e proprietà collettive del nucleo ^{94}Zr

Candidata: Naomi Marchini (naomi.marchini@stud.unifi.it)

Relatore: Prof.ssa Adriana Nannini (nannini@fi.infn.it)

Correlatore: Dott. Marco Rocchini (marco.rocchini@fi.infn.it)

Il fatto che un particolare nucleo atomico possieda autostati con associate forme diverse ed energie di eccitazione simili, è una caratteristica osservata in varie regioni della carta dei nuclidi. Ad oggi si pensa che questo fenomeno, detto coesistenza di forma, possa verificarsi nella maggior parte di nuclei, ma una descrizione universale non è ancora disponibile. L'interesse nello studio della coesistenza di forma risiede nella sua sensitività all'interazione protone-neutrone all'interno del nucleo, la cui conoscenza è di cruciale importanza per la comprensione della struttura nucleare.

Gli isotopi di Zirconio sono particolarmente interessanti per questo tipo di studi, dato che recenti calcoli teorici svolti nell'ambito del modello a shell Monte Carlo (Monte Carlo Shell Model, MCSM) prevedono in questi nuclei la presenza di stati di bassa energia con forme diverse associate. Lo studio del nucleo ^{94}Zr si presenta particolarmente interessante in questo contesto, dal momento che esistono già dati sperimentali che suggeriscono la presenza di stati con momento angolare $J = 0^+$ e $J = 2^+$ associati a forme diverse (sferiche e oblate). Al fine di ottenere informazioni definitive sulla deformazione dei primi stati eccitati nel ^{94}Zr è stato effettuato un esperimento di eccitazione Coulombiana presso i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).

L'eccitazione Coulombiana è un processo di interazione puramente elettromagnetico tra due nuclei che collidono. Se l'energia del nucleo incidente viene mantenuta al di sotto della così detta "safe energy", il contributo delle forze nucleari a corto range è trascurabile, permettendo lo studio della struttura del nucleo senza assunzioni derivanti da specifici modelli. Tramite la tecnica dell'eccitazione Coulombiana è possibile eccitare stati nucleari a bassa energia, ottenendo osservabili (quali il momento di quadrupolo) direttamente collegate alla forma del nucleo nel suo stato fondamentale e in quelli eccitati.

Dal punto di vista sperimentale, le misure di eccitazione Coulombiana richiedono la rivelazione degli ioni diffusi nell'interazione e dei raggi γ di diseccitazione. Nell'esperimento oggetto di questa tesi sono stati utilizzati a tal fine gli array GALILEO e SPIDER: il primo è uno spettrometro per raggi γ composto da 25 rivelatori HPGe, ciascuno dotato di uno schermo anti-Compton, il secondo è un rivelatore al Silicio segmentato composto da 56 singole unità. Al fine di aumentare l'efficienza di rivelazione dei raggi γ , sono stati aggiunti 6 scintillatori $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ al setup GALILEO-SPIDER. Tali rivelatori sono stati caratterizzati in termini di risoluzione ed efficienza, ottenendo importanti informazioni per la pianificazione di futuri esperimenti che ne prevedono l'utilizzo.

I dati raccolti durante l'esperimento sono stati analizzati con il codice GOSIA, ottenendo elementi di matrice diagonali e non diagonali relativi alle transizioni osservate. Da questi valori sono state ricavate le corrispondenti probabilità di transizione, le quali sono risultate in buon accordo con i valori già presenti in letteratura. Sono stati determinati per la prima volta i momenti spettroscopici di quadrupolo degli stati $2_{1,2}^+$ e i parametri di deformazione β e γ degli stati $0_{1,2}^+$. Le informazioni sulla forma degli stati ottenute in questo lavoro confermano le previsioni teoriche svolte nell'ambito del modello MCSM, le quali suggeriscono la presenza di stati con associate forme sferiche e oblate coesistenti nel nucleo ^{94}Zr .

Coulomb excitation and collective properties of ^{94}Zr

Candidate: Naomi Marchini (naomi.marchini@stud.unifi.it)

Supervisor: Prof.ssa Adriana Nannini (nannini@fi.infn.it)

Co-supervisor: Dott. Marco Rocchini (marco.rocchini@fi.infn.it)

The observation that a particular atomic nucleus can exhibit eigenstates with different shapes and similar excitation energies is a widespread feature that may occur in nearly all nuclei. A comprehensive description of this characteristic behaviour, called shape coexistence, is still missing. The interest in the study of shape coexistence lies in its sensitivity to the proton-neutron interaction inside the nucleus, whose knowledge is of crucial importance for the understanding of nuclear structure.

The Zirconium isotopes are particularly interesting for such studies, because recent state-of-the-art Monte Carlo Shell Model (MCSM) calculations predict in these nuclei the coexistence of low-lying states having different shapes. The nucleus ^{94}Zr has a particularly intriguing position in this context, since some experimental investigations have already suggested the possible coexistence of states having different shapes (spherical and oblate). In order to gain definitive information on the deformation of the first two excited 2^+ and 0^+ states in ^{94}Zr , a Coulomb excitation experiment at the Legnaro National Laboratories (LNL) of the National Institute of Nuclear Physics (INFN) has been performed.

The Coulomb excitation is a purely electromagnetic process due to the Coulomb field acting between two colliding nuclei. Under a proper “safe energy” condition the contributions of the short range nuclear force are negligible and, therefore the experimental results can be obtained in a model-independent way. This technique selectively excites low-lying nuclear states, offering the possibility to measure observables directly related to the shape of the nucleus in its fundamental and excited states.

From the experimental point of view Coulomb excitation measurements require the detection of the scattered nuclei and the γ rays emitted by them. In the experiment discussed in this thesis, the GALILEO and SPIDER arrays have been used for this purpose: the former is a γ ray spectrometer composed by 25 HPGe detectors, each equipped with an anti-Compton shield, the latter is a Silicon detector segmented in 56 units. To increase the total detection efficiency for γ -rays, 6 $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ scintillators have been coupled to the GALILEO-SPIDER setup. The $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ resolution and efficiency have been studied in this thesis, providing important information to plan future experiments with these detectors.

The data collected during the experiment have been analyzed with the GOSIA code, obtaining diagonal and non-diagonal matrix elements for the observed transitions. The reduced transition probabilities deduced from the obtained quantities, show a good agreement with already reported in the literature data. For the first time the spectroscopic quadrupole moments of the $2^+_{1,2}$ states and the deformation parameters β and γ of the $0^+_{1,2}$ states have been determined. These results confirm the MCSM predictions, in which shape coexistence between spherical and oblate structures in the ^{94}Zr nucleus was suggested.