

Lebensdauern der niedrigsten
kollektiven Zustände
in den Kernen

^{120}Xe , ^{128}Ba , ^{130}Ba , ^{130}Ce

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

vorgelegt von
Sotirios Harissopulos
aus Kastanea-Pierias
(Griechenland)
Köln 1989

Gedruckt mit Unterstützung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes.

Berichterstatter: Prof. Dr. P. von Brentano
Prof. Dr. A. Gelberg

Tag der mündlichen Prüfung: 1. Juli 1989

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	2
2 Die RDDS-Messungen	5
2.1 Das Meßprinzip	5
2.2 Die Meßapparatur	7
2.2.1 Der Plunger	7
2.2.2 Target- und Stopper-Folien	10
2.2.3 Die γ -Detektoren	12
2.2.4 Die Abstandseichung und die Kapazitätsmethode	13
2.3 Die experimentellen Zerfallskurven	17
3 Auswertung und Ergebnisse	21
3.1 Herleitung einer theoretischen Funktion zur Anpassung an die Meßwerte .	21
3.2 Berücksichtigung des Sidefeedings bei der Auswertung der Meßdaten	28
3.3 RDDS-Messung an ^{120}Xe mit $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen.	31
3.4 RDDS-Messung an ^{120}Xe ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	43
3.5 RDDS-Messung an ^{128}Ba ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	56
3.6 RDDS-Messung an ^{130}Ba ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	68
3.7 RDDS-Messung an ^{130}Ce ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	78
4 Der Differential-Plunger und die Methode der differentiellen Zerfallskurve (<i>DDCM</i>)	84
4.1 Das Prinzip	84
4.2 Auswertung nach der <i>DDCM</i>	89
4.2.1 Ermittlung der benötigten Größen	89
4.2.2 Berücksichtigung des Sidefeedings	90
4.3 Die Ergebnisse	94
5 Diskussion der Ergebnisse	107
5.1 Die Sidefeeding-Zeiten	107

5.2	Vergleich der experimentellen Daten mit theoretischen Rechnungen	109
5.2.1	Das Interacting-Boson-Modell	109
5.2.2	Die $B(E2)$ -Werte	111
5.3	Schlußbetrachtung	118
A	Anhang	126
A.1	$RDDS$ -Messung an ^{120}Xe mit $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	126
A.2	$RDDS$ -Messung an ^{120}Xe ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	128
A.3	$RDDS$ -Messung an ^{128}Ba ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	136
A.4	$RDDS$ -Messung an ^{130}Ba ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	149
A.5	$RDDS$ -Messung an ^{130}Ce ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen	156

Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden mit Hilfe der Recoil-Distance Doppler-Shift Methode (*RDDS*) mittlere Lebensdauern angeregter Zustände der Kerne ^{120}Xe , ^{128}Ba , ^{130}Ba und ^{130}Ce gemessen.

Zur Auswertung der Meßdaten ist es notwendig den zeitlichen Verlauf der nicht direkt beobachteten Bevölkerung (*Sidefeeding*) der betrachteten Zustände zu kennen. Zu diesem Zweck wurde eine *RDDS*-Messung mit $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen am Kern ^{120}Xe durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messung zeigen, daß die effektiven Sidefeeding-Zeiten der Zustände vergleichbar mit der effektiven Zeiten der direkt beobachteten Bevölkerung sind.

Für die Analyse der Daten wurden sowohl die konventionelle als auch eine neu entwickelte Auswertemethode, anhand derer der Einfluß von systematischen Fehlern leicht erkennbar ist, benutzt.

Die aus den hier bestimmten mittleren Lebensdauern extrahierten reduzierten γ -Übergangswahrscheinlichkeiten wurden mit den Vorhersagen kollektiver Modelle (*IBA-1*, Rotor-Modell) verglichen. Dabei ergab sich im allgemeinen eine gute Übereinstimmung.

1. Einleitung

Die Kernanregungen in der $Xe-Ba-Ce$ -Region spiegeln ein sehr kompliziertes Zusammenspiel zwischen kollektiven und Einteilchen-Anregungen wieder. Eigenschaften wie Triaxialität, Gamma-Weichheit und Koexistenz verschiedener Deformationen spielen eine wichtige Rolle. Um diese Eigenschaften mit theoretischen Überlegungen zu vergleichen, wurden im Institut für Kernphysik der Universität zu Köln systematisch Daten über die Struktur der leichten Xe -Kerne [Gas82, Loe86, Rei86, Lie88a] und Ba -Kerne [Sch86a, Sch86b, Sch87, Sun85] durch grundlegende Experimente wie $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen, γ -Winkelverteilungen und Anregungsfunktionen gesammelt und erarbeitet.

Die dabei erstellten Termschemata zeigten beim Vergleich mit kollektiven Kernmodellen eine gute Übereinstimmung. Die Energien der niedrigsten kollektiven Zustände dieser Kerne konnten vom sog. Interacting-Boson-Modell (*IBA*), [Iac87], erfolgreich reproduziert werden [Cas85a] [Cas85b, Sev87]. Die experimentellen Daten über die Hochspinzustände um und über dem ersten Backbending dieser Kerne sind im Rahmen des sog. Cranked-Shell-Modells (*CSM*), [Ben79], erfolgreich interpretiert worden [Wys88, Wys89].

Neben den Termschemata, die durch die oben erwähnten Experimente etabliert worden sind, waren weitere Aussagen über die Struktur von Kernzuständen anhand der reduzierten elektromagnetischen Übergangswahrscheinlichkeiten $B(L)$ möglich. Da diese über die Relation

$$B(L) = (2J_i + 1)^{-1} |\langle \Psi_f | \mathcal{M}(L) | \Psi_i \rangle|^2 \quad (1.1)$$

mit

- J_i : der Spin des Anfangszustands,
- Ψ_i : die Wellenfunktion des Anfangszustands,
- Ψ_f : die Wellenfunktion des Endzustands, und
- $\mathcal{M}(L)$: der Operator der elektromagnetischen Wechselwirkung.

mit den benutzten Wellenfunktionen zusammenhängen, ist der Vergleich von theoretisch berechneten und experimentell ermittelten $B(L)$ -Werten ein zusätzlicher und sehr sensibler Test des jeweils verwendeten Modells.

Experimentell lassen sich die Größen $B(L)$ durch Lebensdaueremessungen aus der folgenden allgemeinen Beziehung gewinnen:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{8\pi(L+1)}{L[(2L+1)!!]} \frac{1}{\hbar} \cdot \left(\frac{E_\gamma}{\hbar c}\right)^{2L+1} \cdot B(L) \quad (1.2)$$

mit

- τ : die zu messende Lebensdauer
- L : die Multipolarität des betrachteten γ -Übergangs
- E_γ : die Energie des γ -Übergangs
- $\hbar$: das Planck'sches Wirkungsquantum
- c : die Lichtgeschwindigkeit

Für die niedrigsten kollektiven Zustände werden Lebensdauern im Picosekunden-Bereich erwartet. Zur Messung von Lebensdauern in dieser Größenordnung sowohl an stabilen, als auch instabilen Kernen ist die sog. Recoil-Distance Doppler-Shift Methode (*RDDS*) [Ale78, Nol79] geeignet, da man mit dieser Methode Lebensdauern im Bereich $1 \text{ ps} \leq \tau \leq 1 \text{ ns}$ messen kann.

Bei der Auswertung einer *RDDS*-Messung geht a priori eine unbekannte Größe, nämlich die Zeitverteilung des sog. Sidefeedings ein. Unter dem Begriff Sidefeeding versteht man die Bevölkerung eines angeregten Kernzustands über nicht beobachtete Übergänge. Die Sidefeeding-Zeit, die die effektive Zeitdauer dieser Bevölkerung angibt, läßt sich bei einer konventionellen *RDDS*-Messung ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen nicht messen. Wie aber *Loewenich* in [Loe84] und *von Brentano* und Mitarbeiter in [Bre84] gezeigt haben, kann die nach der *RDDS*-Methode gemessene Lebensdauer eines angeregten Kernzustandes stark verfälscht sein, wenn keine Information über die Sidefeeding-Zeit dieses Zustands vorliegt. Der Fehler der gemessenen Lebensdauer wächst mit der Intensität des Sidefeedings. Entsprechend stark wird dann auch der $B(L)$ -Wert eines γ -Übergangs, der einen Zustand mit großer Sidefeeding-Intensität entvölkert, verfälscht sein.

Demzufolge könnte die unerwartet starke Reduktion der experimentellen $B(E2)$ -Werte, die an der Stelle des ersten Backbendings in den Kernen ^{120}Xe [Loe84] und ^{124}Xe [Han83] beobachtet wurde, ihre Ursache nicht im Backbending selbst, sondern in der Vernachlässigung des Sidefeeding-Einflusses haben.

Solche “ $B(E2)$ -Anomalien”, die durch keine Theorie befriedigend erklärt werden konnten, wurden auch in anderen Kernen der Xe-Ba-Ce -Region beobachtet [Hus77, Sei79], so daß sie als ein typisches Merkmal dieser Massenregion galten. Bei allen Lebensdauermessungen jedoch, die solche “ $B(E2)$ -Anomalien” lieferten, war sowohl die Intensität des Sidefeedings für die relevanten Zustände relativ groß als auch dessen effektive Zeit unbekannt.

Darum wurden im Rahmen dieser Arbeit zunächst Sidefeeding-Zeiten mittels $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen nach der *RDDS*-Methode gemessen. Aus [Loe84] war bekannt, daß der 8_1^+ - bzw. 10_1^+ -Zustand in ^{120}Xe stark durch Sidefeeding bevölkert werden. Insofern bot sich dieser Kern zur Bestimmung von Sidefeeding-Zeiten an. Die daraus ermittelten Sidefeeding-Zeiten τ^{sf} waren vergleichbar mit den effektiven Lebensdauern τ^{df} der diskret bevölkernden Zustände. Dieses Ergebnis

$$\tau^{sf} \approx \tau^{df} \quad (1.3)$$

wurde als Annahme bei der Auswertung von *RDDS*-Messungen ohne $\gamma\gamma$ -Koinzidenzen an den Kernen ^{120}Xe , $^{128,130}\text{Ba}$ und ^{130}Ce verwendet. Über die Messungen wird in Kapitel 2 berichtet. Kapitel 3 befaßt sich mit der Auswertung und den Ergebnissen dieser Messungen.

Desweiteren wurde die von *Dewald et. al* [Dew89] neu entwickelte Auswertemethode, die sog. *DDCM*, dazu benutzt, systematische Fehler, die bei der Auswertung von *RDDS*-Daten auftreten können, zu untersuchen. Diese neue Methode wurde an den Daten erprobt und mit den Ergebnissen konventioneller Auswertemethoden verglichen. Darüber wird in Kapitel 4 berichtet.

Die aus diesen Auswertungen gewonnenen reduzierten Übergangswahrscheinlichkeiten werden schließlich in Kapitel 5 mit Vorhersagen theoretischer Modelle verglichen.