

# Untersuchung der anisotropen Abbremsung von niedrigerenergetischen Magnesiumatomen in einem NaCl-Einkristall

JÜRGEN KALUS

Physik-Department der Technischen Hochschule München

(Z. Naturforsch. 21 a, 827—829 [1966]; eingegangen am 11. März 1966)

Es wurde die Kernresonanzfluoreszenzausbeute am 1,37 MeV-Niveau von  $Mg^{24}$ , das durch Neutronenbestrahlung von  $Na^{23}$  in einem NaCl-Einkristall erzeugt wurde, in Abhängigkeit von der Kristallorientierung gemessen. Innerhalb der Meßgenauigkeit ergab sich keine Änderung. Rechnungen mit dem Hartkugelmodell ergaben unter Vernachlässigung des vorausgehenden  $\beta$ -Zerfalls für spezielle hochsymmetrische Lagen des Mg-Atoms deutliche Änderungen in der Ausbeute. Für die Deutung der Ergebnisse werden folgende Möglichkeiten diskutiert:

- Einfluß der Lebensdauer des 4,12 MeV-Niveaus von Mg.
- Einfluß von Mg-Gitterplätzen niedriger Symmetrie.

## Grundlagen

Die Kernresonanzfluoreszenz (KRF)-Ausbeute in Einkristallen hängt von der Orientierung der  $\gamma$ -emittierenden Teilchen bezüglich des Gitters ab<sup>1</sup>. Man kann erwarten, daß man durch Messung der Anisotropie in der KRF-Ausbeute Aussagen über die Lage und nächste Umgebung des  $\gamma$ -emittierenden Teilchens erhält.

Kernresonanzfluoreszenz bei  $Mg^{24}$  ist dann möglich (s. Abb. 1), wenn die Emission des 1,37 MeV-Quants vom bewegten Kern aus erfolgt, da dann die Rückstoßimpulsverluste bei Emission und Absorption wegen des auftretenden DOPPLER-Effektes kompensiert werden können<sup>2</sup>. Resonanz kann eintreten, wenn die Resonanzbedingung

$$v_{\text{res}} = E_\gamma / (M c) \quad (1)$$

erfüllt ist, wobei  $v_{\text{res}}$  die Geschwindigkeitskomponente des emittierenden Kerns in Richtung Quelle-Streuer,  $E_\gamma$  die Energie des angeregten Kernniveaus und  $M$  die Masse des Kerns sind.

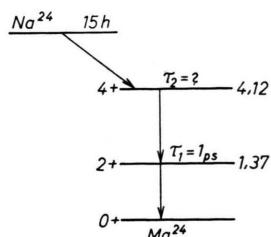


Abb. 1. Termschema von  $Mg^{24}$ .

Die Ausbeute an resonant gestreuten Quanten ist für einen dünnen Streuer proportional zu

$$A_{\langle r \rangle} = N(E_r) \langle r \rangle \int \sigma_{\text{SC}}(E) dE, \quad (2)$$

wenn  $N(E)$ , die spektrale Verteilung der anregenden  $\gamma$ -Quanten, eine gegenüber dem Wirkungsquerschnitt für Resonanzstreuung  $\sigma_{\text{SC}}(E)$  langsam veränderliche Funktion der Energie  $E$  ist. Der Integralausdruck hängt nur von Kerneigenschaften des Streuers ab<sup>2</sup>.  $N(E_r) \langle r \rangle$  hängt von der Abbremsung und damit auch von der Lage der  $\gamma$ -emittierenden Kerne in der Quelle ab und ist deshalb eine Funktion der Kristallorientierung  $\langle r \rangle$ .

Für einen NaCl-Einkristall wurden nun für drei spezielle Gitterpositionen des  $Mg^{24}$  (das durch Neutronenbestrahlung von  $Na^{23}$  entsteht) die Anisotropie der KRF-Ausbeute unter folgenden vereinfachten Annahmen berechnet:

- Die Temperaturbewegung wird vernachlässigt.
- Die Lebensdauer des 4,12 MeV-Niveaus sei größer als die Zeit, die ein mit ca. 170 eV (das ist die Energie, die das Teilchen nach Emission des 2,75 MeV-Quants erhält) angestoßenes Gitterteilchen braucht, um wieder eine stabile Gleichgewichtslage einzunehmen.
- Die Abbremsung der Teilchen soll durch elastische Hartkugelstöße erfolgen.
- Nach dem ersten Stoß des  $\gamma$ -emittierenden Kerns mit anderen Gitterteilchen soll dieser auf eine Geschwindigkeit kleiner  $v_{\text{res}}$  abgebremst werden (dann ist keine Kernresonanzfluoreszenz mehr möglich).

<sup>1</sup> F. JÄHNIG u. J. KALUS, Z. Naturforsch. 20 a, 387 [1965].

<sup>2</sup> F. R. METZGER, Progr. Nucl. Phys. 7, 53 [1959].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

Rechnungen mit verschiedenen Stoßradien geben für Bedingung c) nur quantitative Änderungen, so daß sich das Ergebnis durch Einführung von BORN-MAYER-Potentialen sicher nicht wesentlich ändert. Annahme d) ist einigermaßen gut durch Rechnungen an Kupfer belegt<sup>3</sup>. Demnach zeigt der Geschwindigkeitsverlauf des Teilchens als Funktion der Zeit eine deutliche Stufe nach dem ersten Stoß.

Die obigen Vereinfachungen bewirken, daß nur die Teilchen einen Beitrag zur KRF-Ausbeute geben können, deren Impulsrichtungen auf einem Kegelmantel mit dem Öffnungswinkel  $2\vartheta = 120^\circ$  liegen.  $\vartheta$  ist der Winkel der Impulsrichtung bezüglich der Richtung zum Resonanzstreuer.

Drei verschiedene Gleichgewichtslagen für das Mg-Atom wurden berechnet.

1. Das Mg-Atom sitzt auf einem normalen Na-Gitterplatz.
2. Das Mg-Atom sitzt raumzentriert im NaCl-Gitter.
3. Das Mg-Atom sitzt flächenzentriert im NaCl-Gitter. Die Rechnungen wurden für Drehungen des Kristalls um die  $\langle 001 \rangle$ -Achse durchgeführt und für den Winkel  $0^\circ$  (entspricht der  $\langle 100 \rangle$ -Achse) auf 1 normiert. Die Ergebnisse der Rechnungen sind für die Stoßradien  $R_1 = 0,9 \text{ \AA}$  (Stoß Mg – Na) und  $R_2 = 1,3 \text{ \AA}$  (Stoß Mg – Cl) in Abb. 3 eingezeichnet.

Für die Fälle 1. und 2. ergeben sich deutliche und entgegengesetzt verlaufende Effekte, während Fall 3. einen nahezu konstanten Verlauf zeigt. Die Ursache für den nahezu konstanten Verlauf von 3. ist in der Tatsache begründet, daß für diese Lage drei verschiedene, gleich wahrscheinliche Positionen vorhanden sind und daher eine Ausmittelung des Effektes eintritt. Rechnungen mit anderen Stoßradien ergeben qualitativ keine Änderung im Verlauf der Anisotropie.

Es ist mit großer Sicherheit zu erwarten, daß für andere mögliche Lagen des Mg-Atoms, die einigermaßen von den hochsymmetrischen Fällen 1. und 2. verschieden sind, ebenfalls nahezu konstante Ausbeutewerte auftreten.

### Experimentelle Durchführung

Das KRF-Experiment wurde als Streuexperiment durchgeführt. Durch die Wahl eines großen Streuwinkels lassen sich die COMPTON-gestreuten Quanten gut von den resonant-gestreuten trennen. Detektor war ein  $3'' \times 3''$ -NaJ(Tl)-Kristall. Es wurden die relativen Re-

sonanzausbeuten für verschiedene Kristallrichtungen des NaCl-Gitters bestimmt. Der zylinderförmige NaCl-Einkristall wurde um die mit der geometrischen Achse identischen  $\langle 001 \rangle$ -Achse gedreht. Die Anordnung von Quelle, Streuer und Detektor geht aus Abb. 2 hervor.

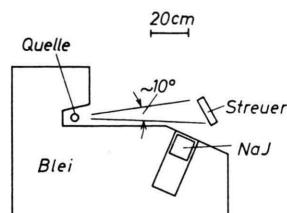


Abb. 2. Meßanordnung.

Das radioaktive Na<sup>24</sup> und damit das angeregte Mg<sup>24</sup> wurde durch Neutronenbestrahlung des NaCl-Einkristalls am Forschungsreaktor München erhalten. Die Probenstärke betrug 10 Curie.

Der  $15 \times 20 \text{ cm}^2$  große und 6 cm dicke Resonanzstreuer bestand aus Magnesium. Ein bezüglich elastischer, nichtresonanter Streustrahlung angepaßter Vergleichsstreuer aus Aluminium wurde zur Ermittlung des Untergrunds verwendet. Die Messungen erfolgten zur Vermeidung von systematischen Fehlern alternierend in einem 5-Minuten-Rhythmus zwischen der Meßrichtung und einer Bezugsrichtung. Die Meßzeit für eine Winkeleinstellung betrug ca. 2 Stunden. Der jeweilige Meßeffekt war etwa 1/10 des Untergrundes, so daß große statistische Fehler entstanden.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 3 mit den Fehlern eingezeichnet. Der Wert bei  $-5^\circ$  (Bezugsrichtung) wurde willkürlich zu eins angenommen. Die Fehler ergaben sich aus den statistischen und Anpassungsfehlern an den Untergrund. Innerhalb der Fehlergrenzen ist die KRF-Ausbeute konstant.

### Diskussion

Für die Erklärung der konstanten KRF-Ausbeute bieten sich drei Möglichkeiten an:

1. Die eventuell vorhandene Gleichgewichtslage des Mg im NaCl-Gitter ist eine Lage mit niedriger Symmetrie, so daß eine Ausmittelung des Anisotropieeffekts eintritt.
2. Es sind mehrere Gleichgewichtslagen möglich. Es kann dann vorkommen, daß zufällig bei der Überlagerung der Einzeleffekte die Anisotropie nahezu verschwindet.

<sup>3</sup> J. B. GIBSON, Phys. Rev. 120, 1229 [1960].

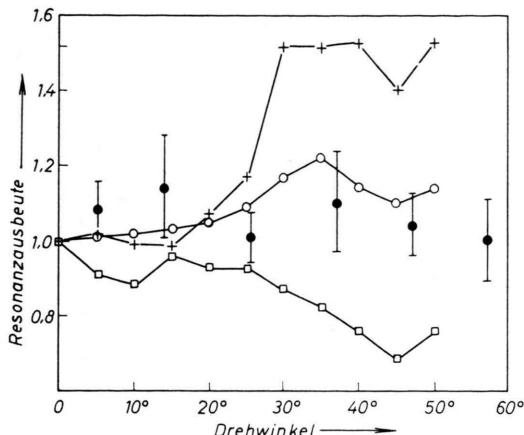


Abb. 3. Relative Resonanzausbeute bei Drehung des NaCl-Einkristalls um die  $\langle 001 \rangle$ -Achse ( $0^\circ$  entspricht  $\langle 100 \rangle$ -Achse).

- Meßwerte;
- flächenzentrierte Lage des Mg-Atoms,
- +— raumzentrierte Lage des Mg-Atoms,
- Mg-Atom auf Na-Gitterplatz.

3. Die Lebensdauer des 4,12 MeV-Niveaus ist so gering, daß bei Emission des 2,75 MeV-Quants der Mg-Kern noch nicht seine Ruhelage erreicht hat. In diesem Fall ist sicher mit einem Verschwinden der Anisotropie zu rechnen.

Der Mg<sup>24</sup>-Kern braucht eine Zeit von größtenteils  $2 \cdot 10^{-13}$  bis  $10^{-12}$  sec, bis seine kinetische Energie thermalisiert ist<sup>4</sup>. Nach WEISSKOPF<sup>5</sup> ist mit einer Lebensdauer von  $\tau_2 \approx 7 \cdot 10^{-13}$  sec für das 4,12 MeV-Niveau zu rechnen, die genau in diesem kritischen Bereich liegt. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist deshalb letztere Möglichkeit für das Verschwinden der Anisotropie verantwortlich.

Herrn Prof. MAIER-LEIBNITZ danke ich für die Unterstützung der Arbeit. Mein Dank gilt auch der Leitung und der Bestrahlungsgruppe des FRM.

<sup>4</sup> G. LEIBFRIED, Bestrahlungseffekte in Festkörpern, Verlag Teubner, Stuttgart 1965, S. 257 ff.

<sup>5</sup> I. M. BLATT u. V. F. WEISSKOPF, Theoretische Kernphysik, Verlag Teubner, Leipzig 1959, S. 536.

## Der Aktivierungsquerschnitt von Silicium-30 für thermische Neutronen

W. KÖHLER UND K. KNOPF

Reaktorstation Garching des Physik-Departments der Technischen Hochschule München

(Z. Naturforsch. **21 a**, 829–830 [1966]; eingegangen am 11. März 1966)

Durch gleichzeitige Aktivierung von Gold und Silicium im Wasserreflektor des Reaktors wurde der Wirkungsquerschnitt der Reaktion  $^{30}\text{Si}(n,\gamma)^{31}\text{Si}$  für thermische Neutronen zu  $\sigma_0 = (103 \pm 3)$  mbarn bestimmt.

Die Reaktion  $^{31}\text{P}(n,p)^{31}\text{Si}$  wird wegen ihrer relativ niedrigen Schwellwertsenergie, der günstigen Halbwertszeit und der energiereichen  $\beta$ -Strahlung oft zur Flußdichtebestimmung schneller Neutronen verwendet. Da  $^{31}\text{Si}$  jedoch ein reiner  $\beta$ -Strahler ist und für routinemäßige Flußmessungen kompakte Sonden aus Phosphorglas oder in Polyäthylen eingelagertem Phosphor verwendet werden, ergibt sich die Notwendigkeit der Kalibrierung der Meßanordnung für diese Messungen. Eine Möglichkeit der Kalibrierung des Meßplatzes besteht darin, daß gleichartige Sonden mit genau bekanntem Siliciumgehalt mit thermischen Neutronen bekannter Intensität bestrahlt und anschließend mit der gleichen Anordnung ausgemessen werden. Für derartige Kalibrierungen wurde ein genauerer Wert für den thermischen Aktivierungsquerschnitt gewünscht (siehe z. B. Request-Listen des EANDC).

Mit einer ähnlichen Anordnung wie bei früheren Arbeiten zur Bestimmung von Wirkungsquerschnitten<sup>1, 2</sup> wurden daher Silicium- und Goldsonden bestrahlt und aus den induzierten Aktivitäten der thermischen Aktivierungsquerschnitt ermittelt.

### 1. Experimentelle Anordnung

Die Bestrahlungen erfolgten im Wasserreflektor des Münchener Forschungsreaktors (FRM). Um eine gleichartige Bestrahlung der Meß- und Vergleichssubstanzen mit und ohne Cd-Abdeckung zu gewährleisten, wurden alle Sonden auf einer sich während der Bestrahlung drehenden Scheibe angeordnet.

Gegenüber der früheren Bestrahlungsanordnung ergeben sich jedoch folgende Änderungen: Der bisher verwendete Drehteller aus Aluminium wurde durch 2 Polyäthylenscheiben ersetzt und die Proben dazwischen eingefügt. Die Drehachse ist nunmehr nicht mehr parallel zur Kernoberfläche, sondern senkrecht zu ihr an-

<sup>1</sup> W. KÖHLER, Z. Naturforsch. **18 a**, 1339 [1963].

<sup>2</sup> F. Lux u. W. KÖHLER, Nukleonik **7**, 480 [1965].