

# Störung der kohärenten Lichtstreuung bei Level-crossing-Experimenten am Rb I-Spektrum durch Edelgasatome

B. GROSSWENDT

Institut für Kernphysik der Technischen Universität Berlin \*  
(Z. Naturforsch. 24 a, 1424—1426 [1969]; eingegangen am 16. Juni 1969)

Level crossing signals in the  $6^2P_{3/2}$ -state of both Rb85 and Rb87 have been detected in the presence of noble gas admixtures. From the analysis of the signal linewidths in their dependence on the noble gas pressure the cross sections for Rb85-Ar, Rb85-He, Rb87-Kr and Rb87-He have been derived.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Untersuchung der Störung von Level-crossing-Signalen des zweiten angeregten Zustandes von Rb85 und Rb87 durch Fremdgas-Atome durchgeführt.

Der experimentelle Aufbau ist in einer Arbeit über die Hyperfeinstruktur der  $6^2P_{3/2}$ -Terme von Rb85 und Rb87 beschrieben<sup>1</sup>. Dabei wurde aus einer elektrodenslosen Hf-Entladungslampe die Resonanzlinie der Wellenlänge  $\lambda = 4202 \text{ \AA}$  ( $6^2P_{3/2} - 5^2S_{1/2}$ ) senkrecht zu einem äußeren Magnetfeld in ein Resonanzgefäß gestrahlt, in dem sich  $\approx 10 \text{ mg}$  Rb85 bzw. Rb87 befanden und das direkt mit einem Pumpstand verbunden war. Das Resonanzgefäß selbst war in einem Ofen eingebaut, dessen Temperatur auf  $100^\circ \text{C}$  stabilisiert wurde. Senkrecht zur Einstrahlungsrichtung und zum Magnetfeld wurden mit Hilfe eines Photomultipliers die Level-crossing-Signale der Hyperfeinstruktur beobachtet, mit Lock-in-Technik verstärkt und bei rechteckigem Puls in differenzierter Form registriert. Die Pulsamplitude war dabei ungefähr gleich der halben Halbwertsbreite der Level-crossing-Signale im Vakuum. Da die Lebensdauer  $\tau = 1,14 \cdot 10^{-7} \text{ s}$  ist und für Rb87 wegen  $I=J$  die  $g_F$ -Faktoren der einzelnen Zeeman-Terme gleich sind, läßt sich die Halbwertsbreite für das Nullfeld-crossing aus der Beziehung  $\Delta H = \hbar / (g_F \mu_B \tau)$  zu  $\Delta H = 1,49 \text{ Oe}$  bzw. mit  $\Delta \nu = 1 / (\pi \tau)$  zu  $2,79 \text{ MHz}$  berechnen. Die Halbwertsbreite  $\Delta H$  für das Level-crossing Rb87 ( $2, -2; 1, 0$ )\*\* betrug  $\Delta H = 1,08 \text{ Oe}$  bzw.  $\Delta \nu = 2,74 \text{ MHz}$  und für das Level-crossing Rb85 ( $3, -3; 2, -1$ )  $\Delta H = 1,13 \text{ Oe}$  bzw.  $\Delta \nu = 2,87 \text{ MHz}$ . Um über den Prozeß der kohärenten Lichtstreuung bei Störung der freien Atome durch Stöße mit Edelgasatomen etwas zu erfahren, wurden die Halbwertsbreiten des Nullfeld-crossings von Rb87, des ( $2, -2; 1, 0$ )-Signals von Rb87 und des ( $3, -3; 2, -1$ )-Signals von Rb85, die im Vakuum ein Maß für die natürliche Lebensdauer des angeregten Zustandes sind, in Abhängigkeit vom Druck der störenden Gase gemessen. Der Gasdruck wurde dabei zwischen  $10^{-4} \text{ Torr}$  und  $3 \cdot 10^{-1} \text{ Torr}$  variiert. Eine experimentelle Schwierigkeit des mit dem Pumpstand direkt verbundenen Gefäßes gegenüber einem abgezogenen Resonanzgefäß ist die Tatsache,

daß bei einer zur Erzielung eines guten Signal-Rausch-Verhältnisses nötigen Temperatur von  $80^\circ \text{C}$  an der kältesten Stelle im Resonanzgefäß, was einem Rb-Dampfdruck von ca.  $5 \cdot 10^{-5} \text{ Torr}$  entspricht, das Rubidium aus dem Gefäß herausdestilliert. Um diesen Prozeß zu verlangsamen, wurde daher eine Rohrverengung zwischen Gefäß und Pumpe eingeführt. Dadurch wurde bei einer Füllung mit  $10 \text{ mg}$  Rb-Isotop eine Lebensdauer des Resonanzgefäßes von ca. 30 Stdn. erzielt. Messungen über die Abhängigkeit der Halbwertsbreite vom Gasdruck wurden für He-, Ar- und Kr-Gas durchgeführt. Der Druck der Edelgase ist dabei mit einem McLeod-Manometer aus Kugelvolumen und Kapillardurchmesser bestimmt worden.

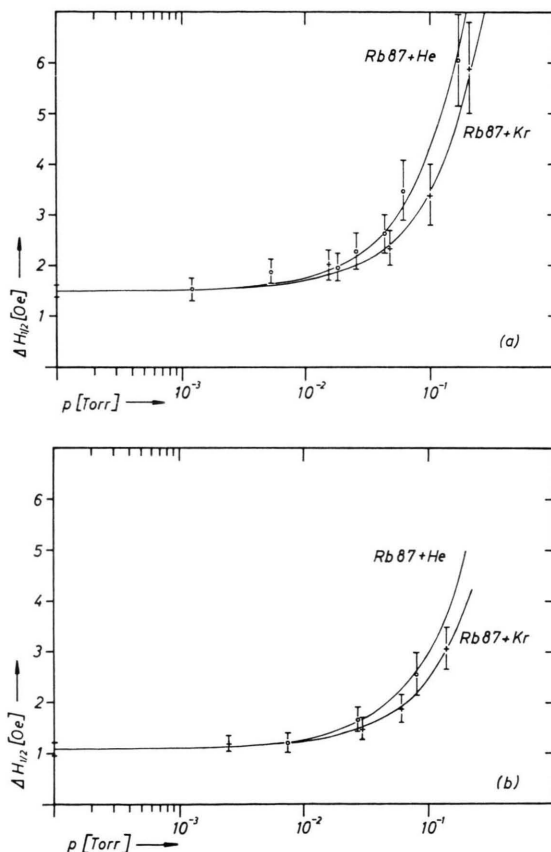


Abb. 1. a) Halbwertsbreiten des Nullfeld-crossing-Signals von Rb87 in Abhängigkeit vom Edelgasdruck. b) Halbwertsbreiten des Level-crossing-Signals Rb87 ( $2, -2; 1, 0$ ) in Abhängigkeit vom Edelgasdruck.

Für jedes Edelgas sind bei verschiedenen Drucken jeweils vier Signale im Nullfeld und im mittleren Feldbereich bei  $H = 7,829 \text{ Oe}$  für Rb85 und bei  $H = 18,793$

Sonderdruckanforderungen erbeten an Dipl.-Ing. B. GROSSWENDT, D-3300 Braunschweig, Ohmstr. 42.

\* Jetzt Physikalisch-Technische Bundesanstalt Braunschweig.

<sup>1</sup> H. BUCKA, B. GROSSWENDT u. H. A. SCHÜSSLER, Z. Physik 194, 193 [1966].

\*\* Der Klammerausdruck ( $F, m_F; F', m_F'$ ) gibt die Quantenzahlen  $F, m_F$  und  $F', m_F'$  der sich kreuzenden Niveaus an.



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 digitalized 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.

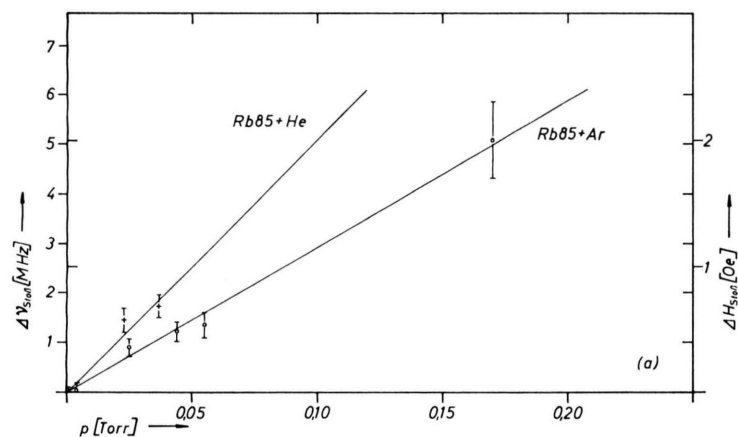


Abb. 2 a.

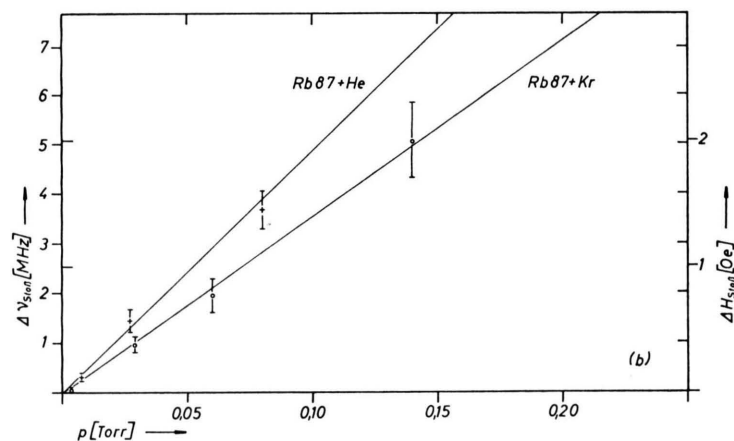


Abb. 2 b.

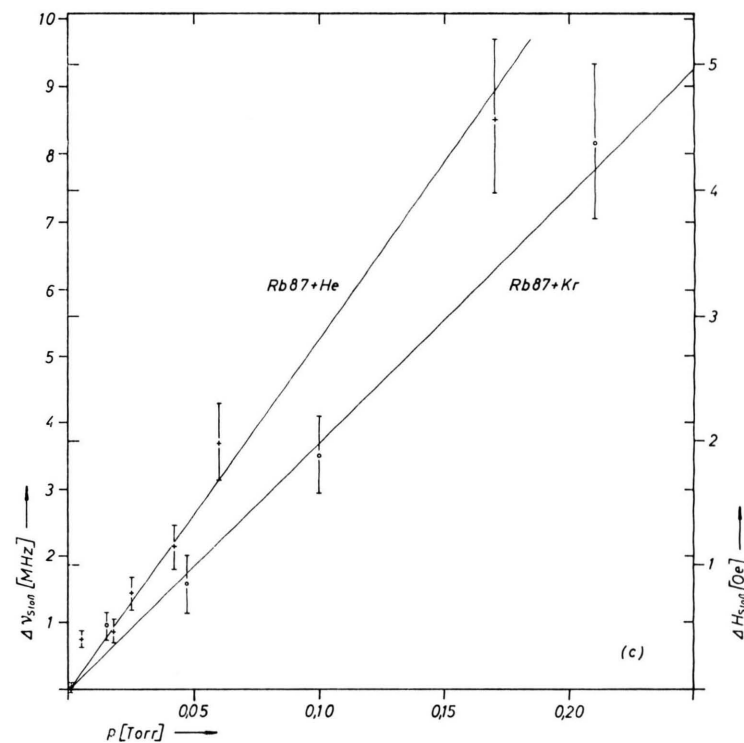


Abb. 2. a) Stoßverbreiterung des Level-crossing-Signals Rb85 (3, -3; 2, -1) in Abhängigkeit vom Edelgasdruck. b) Stoßverbreiterung des Level-crossing-Signals Rb87 (2, -2; 1, 0) in Abhängigkeit vom Edelgasdruck. c) Stoßverbreiterung des Nullfeld-crossing-Signals für Rb87 in Abhängigkeit vom Edelgasdruck.

Signal	Stoßteilchen	Wirkungsquerschnitt $Q$
Nullfeld-crossing	Rb87 + He	$4,42(45) \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2$
	Rb87 + Kr	$10,50(85) \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2$
Level-crossing	Rb87 + He	$4,10(40) \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2$
	Rb87 + Kr	$10,00(65) \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2$
	Rb85 + He	$4,34(50) \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2$
	Rb85 + Ar	$6,58(60) \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2$

Tab. 1.

Oe für Rb87 vermessen worden. Dabei verschlechterte sich das Signal-Rausch-Verhältnis mit steigendem Edelgasdruck. Das Ergebnis der Messungen für die Halbwertsbreiten nach Extrapolation auf die Pulsamplitude Null ist in Abb. 1 eingetragen worden. Aus dem Diagramm ist zu entnehmen, daß durch die Anwesenheit der Edelgasatome die Halbwertsbreite der Level-crossing-Signale ab  $1 \cdot 10^{-2}$  Torr stark vergrößert wird.

Da es sich bei der Level-crossing-Technik um einen kohärenten Streuprozeß handelt, der durch Stöße mit den Edelgasatomen gestört wird, kann man annehmen, daß schon eine Phasenänderung der emittierten Strahlung im klassischen Oszillatormodell während der Stoßzeit ausreicht, eine Linienverbreiterung zu erzeugen. Bei Annäherung der stoßenden Atome ergibt sich eine zeitabhängige Störung des Hamilton-Operators für das Rb-Atom, was im adiabatischen Fall mit einer Änderung der Termabstände verbunden sein könnte.

Beschreibt man die gemessenen Breiten in der Form

$$\Delta\nu_{1/2} = \Delta\nu_{\text{natürlich}} + \Delta\nu_{\text{Stoß}}, \quad (1)$$

läßt sich  $\Delta\nu_{\text{Stoß}}$  aus dem Experiment entnehmen.

Bewegt sich ein Rb-Atom in einem Edelgas der Dichte  $N$  mit einer mittleren relativen Geschwindigkeit  $v$ , so ist die Anzahl  $Z$  der Stöße pro Zeiteinheit proportional der Geschwindigkeit  $v$  und der Gasdichte  $N$  mit dem Wirkungsquerschnitt  $Q$  als Proportionalitätsfaktor.

$$Z = Q v N, \quad (2)$$

$$v = \sqrt{\frac{8}{\pi} \frac{R T}{M_1} \left( \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)}. \quad (3)$$

Nach Einsetzen der mittleren relativen Geschwindigkeit einer Maxwell-Verteilung nach (3) erhält man für die Stoßverbreiterung unter Annahme eines idealen Gases die Gleichung (4).

$$\Delta\nu_{\text{Stoß}} \equiv \frac{Z}{\pi} = p \cdot 6,15 \cdot 10^{18} \sqrt{\frac{2 R}{\pi T} \left( \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)} Q. \quad (4)$$

Hierbei bedeuten  $p$  den Gasdruck in Torr,  $R$  die allgemeine Gaskonstante,  $T$  die absolute Temperatur,  $M_1, M_2$  die Atomgewichte der stoßenden Teilchen und  $Q = \pi \varrho^2$  den Wirkungsquerschnitt für die Störung der angeregten Zustände der Rb-Atome durch Edelgase mit dem Stoßparameter  $\varrho$ . Die durch den Stoß hervorgerufene zusätzliche Verbreiterung der Level-crossing-Signale sollte daher proportional dem Gasdruck  $p$  sein.

In Abb. 2 sind die aus dem Experiment entnommenen Werte für die Verbreiterung in Abhängigkeit vom Druck  $p$  aufgetragen. Dabei wurden die gemessenen Werte auch in Einheiten von MHz angegeben, wobei für die Level-crossing-Signale die relativen Steigungen  $\alpha = 2,54$  MHz/Oe, mit denen sich die Hfs-Zeeman-Terme schneiden, berücksichtigt wurden. Errechnet man den Wirkungsquerschnitt  $Q$  für die Stöße mit den Edelgasatomen aus der Gl. (4) und den Diagrammwerten, so ergeben sich die in Tab. 1 (s. Seite 1425) eingetragenen Werte.

Ich danke Herrn Professor Dr. H. BUCKA für die Förderung dieser Arbeit und für viele nützliche Ratschläge.