

Er stimmt mit dem von GÜNTHER, ENGELS und BODENSTEDT<sup>1</sup> gemessenen innerhalb der Fehler überein, widerspricht aber dem neueren Ergebnis<sup>2</sup>. NILSSON und PRIOR berechneten  $g_R^{172} = 0,322$  (Fall B).

Für den  $g_R$ -Faktor von Yb<sup>170</sup> erhalten wir

$$g_R^{170}(84,3 \text{ keV}) = 0,338 \pm 0,010$$

in guter Übereinstimmung mit den bisher veröffentlichten Werten<sup>4, 5</sup>

$$g_R^{170} = 0,334 \pm 0,005 \quad \text{und} \quad g_R^{170} = 0,33 \pm 0,02.$$

Für das Verhältnis der  $g_R$ -Faktoren ergibt sich unter der Annahme, daß es gleich dem beobachteten Verhältnis der  $A_2$ -Faktoren ist,

$$\frac{g_R^{170}(84,3 \text{ keV})}{g_R^{172}(78,7 \text{ keV})} = 1,009 \pm 0,017.$$

### Inverse Grundzustands-Besetzung beim Optischen Pumpen mit D<sub>2</sub>-Licht

J. FRICKE und J. HAAS

Physik-Department der Technischen Hochschule München

(Z. Naturforsch. 21 a, 1319—1320 [1966]; eingegangen am 9. Juli 1966)

Die Ergebnisse früherer Arbeiten über Optisches Pumpen mit zirkular polarisiertem D<sub>2</sub>-Licht<sup>1-3</sup> führten zu der Ansicht, daß der Pumpprozess für höhere Puffergasdrücke unwirksam wird. Unsere Messungen weisen für diesen Fall eine inverse Besetzung im Grundzustand von Cäsium nach, welche durch das DEHMELTSche Mixing-Modell im 6<sup>2</sup>P-Zustand erklärt werden kann.

Die Experimente wurden mit einer herkömmlichen Apparatur<sup>4</sup> für Optisches Pumpen an Cs<sup>133</sup> ( $I=7/2$ ) in verschiedenen Edelgasatmosphären durchgeführt. Bei einer Temperatur von 20 °C und einem Magnetfeld von

Dieser Wert ist der Mittelwert aus je zwei Messungen. Der Fehler enthält die Anteile a) und c) (siehe oben).

Wir sind Herrn Prof. Dr. P. KIENLE für die Förderung unserer Arbeit sehr zu Dank verpflichtet. Herrn Dr. H. FRANK danken wir für die Beratung bei den Arbeiten im Isotopenlabor, Herrn Dipl.-Phys. W. HENNING für vorbereitende Untersuchungen. Herr Dr. A. MEYER vom Forschungslaboratorium der Siemens & Halske AG München stellte uns freundlicherweise das TmAl<sub>2</sub> zur Verfügung. Fräulein A. FORGATSCH danken wir für die Herstellung der Absorber. Für die Aktivierung der TmAl<sub>2</sub>-Quelle sind wir der Betriebsleitung des Forschungsreaktors Garching zu Dank verpflichtet. Diese Arbeit wurde durch Mittel des Bundesministeriums für wissenschaftliche Forschung unterstützt.

3 Oersted wurde die radiofrequenz-induzierte Absorptionsänderung  $\Delta A$  für  $\sigma^+$ -Licht gemessen. Dabei wurde eine Lock-in-Verstärker-Technik benutzt.

Bei Sättigung der ZEEMAN-Resonanz des Cs-Grundzustandes (350 kHz/Oe) zeigt sich (Tab. 1), daß  $\Delta A$  im Bereich hoher Puffergasdrücke für D<sub>2</sub>-Licht das gleiche Vorzeichen besitzt wie für D<sub>1</sub>-Licht, für 0 Torr Puffergasdruck das umgekehrte Vorzeichen<sup>2</sup>.

Bei schwacher Hochfrequenz-Einstrahlung können die ZEEMAN-Übergänge in den  $F=3$ - und  $F=4$ -Hyperfein-Niveaus getrennt werden<sup>5</sup>. Der Absorptionsverlauf  $\Delta A$  verhält sich (Tab. 1) bezüglich  $F=4$  wie oben und zeigt für Argon einen Nulldurchgang bei 1,5 Torr.  $\Delta A$  bezüglich  $F=3$  hat stets das gleiche Vorzeichen wie für D<sub>1</sub>-Licht.

Die experimentellen Ergebnisse lassen sich durch ein einfaches Modell für den Pumpprozess erklären: Im Grundzustand keine Relaxation und kein Spinaustausch; im angeregten Zustand „no mixing“ bei 0 Torr Puffergasdruck und „complete mixing“ im Gebiet höherer Drücke.

Aus den relativen Absorptionswahrscheinlichkeiten<sup>6</sup> der Grundzustand-Niveaus ( $F=4$ ,  $m_F$ ) und ( $F=3$ ,  $m_F$ ) von Cs<sup>133</sup> für  $\sigma^+$ -Licht (Tab. 2) läßt sich die Gleichgewichtsbesetzung  $n_j$  berechnen. Bei „no mixing“ ist für beide D-Linien nur das Niveau (4, +4) besetzt<sup>2</sup>, ebenso für „complete mixing“ und D<sub>1</sub>-Licht<sup>7</sup>.

Für D<sub>2</sub>-Licht hat man im Falle von „complete mixing“ die Pumpgleichung<sup>8</sup> für die Besetzungen  $n_j$  der 16 Niveaus des Cs-Grundzustandes im stationären Fall zu lösen:

$$\frac{dn_j}{dt} = -n_j a_j + \frac{1}{16} \sum_{k=1}^{16} n_k a_k = 0.$$

p Torr	0	1,5 (Ar)	37 (Ne)
$F=3$	+0,1	+ 1,2	+ 2,9
$D_1$ $F=4$	+0,7	+ 5,2	+13,2
total	+1,5	+19	+51
$F=3$	+0,07	+ 0,33	+ 0,28
$D_2$ $F=4$	-0,54	0	+ 0,5
total	-1,2	+ 2	+10

Tab. 1. Vorzeichen und Betrag (willkürliche Einheiten) von  $\Delta A$ , gemessen für verschiedene Drücke und Puffergase; getrennte Beiträge für  $F=3$  und  $F=4$  bei schwacher HF (keine Sättigung) sowie totaler Beitrag bei nichtaufgelöster Resonanz (Sättigung).

<sup>1</sup> F. HARTMANN, M. RAMBOSSON, J. BROSEL u. A. KASTLER, C. R. Acad. Sci. Paris **246**, 1522 [1958].

<sup>2</sup> W. B. HAWKINS, Phys. Rev. **123**, 544 [1961].

<sup>3</sup> S. M. JARRETT, Dissertation Universität Michigan, 1962 (nicht veröffentlicht).

<sup>4</sup> W. W. HOLLOWAY JR., E. LÜSCHER u. R. NOVICK, Phys. Rev. **126**, 2109 [1962].

<sup>5</sup> F. A. FRANZ, Phys. Rev. **141**, 105 [1966].

<sup>6</sup> E. U. CONDON u. G. H. SHORTLEY, The Theory of Atomic Spectra, Cambridge Univ. Press, Cambridge 1935.

<sup>7</sup> W. FRANZEN u. A. G. EMSLIE, Phys. Rev. **108**, 1453 [1957].

<sup>8</sup> H. G. DEHMELT, Phys. Rev. **105**, 1487 [1957].



Mit der Normierungsbedingung  $\sum_j n_j = 1$  gilt  $n_j a_j = C$ , wobei  $C = 1 / \sum_j (1/a_j)$ .

Beim Pumpen mit  $D_2$ -Licht (alle  $a_j > 0$ ) ist unter den Niveaus ( $4, m_F$ ) dasjenige mit  $m_F = -4$  und unter den Niveaus ( $3, m_F$ ) jenes mit  $m_F = +3$  am stärksten besetzt.

Aus den Besetzungswahrscheinlichkeiten  $n_j$  ergibt sich die Polarisation des Dampfes zu  $P = \sum_j n_j (m_F)_j$ .

F,	$m_F$	$a_j$		$n_j$			
		$D_1$	$D_2$	$D_1$ n. m.	$D_1$ c. m.	$D_2$ n. m.	$D_2$ c. m.
4	-4	8	4	0	0	0	0,1135
4	-3	7	5	0	0	0	0,0905
4	-2	6	6	0	0	0	0,0756
4	-1	5	7	0	0	0	0,0647
4	0	4	8	0	0	0	0,0566
4	1	3	9	0	0	0	0,0502
4	2	2	10	0	0	0	0,0452
4	3	1	11	0	0	0	0,0412
4	4	0	12	1	1	1	0,0378
3	-3	1	11	0	0	0	0,0412
3	-2	2	10	0	0	0	0,0452
3	-1	3	9	0	0	0	0,0502
3	0	4	8	0	0	0	0,0566
3	1	5	7	0	0	0	0,0647
3	2	6	6	0	0	0	0,0756
3	3	7	5	0	0	0	0,0905
Lit.		mit <sup>6</sup>		2	7	2	mit <sup>8</sup>

Tab. 2. Relative Absorptionswahrscheinlichkeiten  $a_j$  des Grundzustandes für  $\sigma^+$ -Licht und Besetzungswahrscheinlichkeiten  $n_j$  nach Bestrahlung mit  $D_1$ - und  $D_2$ -Licht für „no mixing“ (n. m.) und für „complete mixing“ (c. m.) im angeregten Zustand (Grundzustands-Relaxation vernachlässigt).

Sei  $P_3$  die Polarisation des Niveaus  $F=3$ ,  $P_4$  jene von  $F=4$ , und  $P$  die Gesamtpolarisation des Grundzustandes, so ist für  $D_2$ -Licht und „complete mixing“  $P_3 = +0,220$ ,  $P_4 = -0,523$  und  $P = -0,303$ ; in allen anderen Fällen ist  $P = P_4 = 4$ .

Ebenso lassen sich die Absorption  $A \sim \sum n_j a_j$  und die Absorptionsdifferenz  $\Delta A = A_0 - A \sim \sum a_j (n_0 - n_j)$  getrennt für beide Hyperfeinniveaus ( $\Delta A_F$ ) oder für den gesamten Grundzustand ( $\Delta A$ ) zwischen dem gepumpten ( $n_j; A$ ) und dem ungepumpten Zustand (alle  $n_j = n_0$ ;  $A_0$ ) berechnen. Mit den Werten von Tab. 2 ergibt sich für  $D_2$ -Licht und „complete mixing“:

$$\Delta A_3 = +0,336, \quad \Delta A_4 = +0,432 \quad \text{und} \quad \Delta A = +0,768.$$

Die experimentellen Werte (Tab. 1) bestätigen qualitativ die Ergebnisse aus dem einfachen Mixing-Modell, welches den erfolgreichen Pumpprozeß mit  $D_2$ -Licht bei höheren Puffergasdrücken erklärt. Quantitative Übereinstimmung ist wegen der Vernachlässigung der Relaxation im Grundzustand und wegen der vereinfachten Beschreibung der Stoßvorgänge im angeregten Zustand nicht zu erwarten. Mit der Arbeit des Ehepaares FRANZ<sup>9</sup> und derjenigen von OMONT<sup>10</sup> ist eine Auswertung des Nulldurchganges der  $F=4$ -Resonanz zur Bestimmung der Wirkungsquerschnitte im angeregten Zustand möglich. Dies ist zusammen mit den Autoren von<sup>9</sup> in Aussicht genommen.

Diese Arbeit wurde aktiv von Professor Dr. E. LÜSCHER gefördert. Die Anregung, die Grundzustandspolarisation für  $D_2$ -Licht in Abhängigkeit vom Puffergasdruck im Hinblick auf Berechnung von Mixing-Wirkungsquerschnitten zu untersuchen, stammt von Dr. F. A. FRANZ. Beiden sind wir zu großem Dank verpflichtet. Ebenso danken wir W. BAYLIS und G. GERRER für hilfreiche Diskussionen.

<sup>9</sup> F. A. FRANZ u. J. R. FRANZ, Excited State Mixing in the Optical Pumping of Alkali Metal Vapors, wird veröffentlicht.

<sup>10</sup> A. OMONT, J. Physique **26**, 26 [1965].