

## Präzisionsmessungen in der *K*-Serie der Elemente 30 Zn bis 44 Ru.

Von Bengt Edlén in Uppsala.

Mit 8 Abbildungen. (Eingegangen am 8. Oktober 1928.)

Mit dem Präzisions-Tubusspektrometer von Siegbahn und Larsson sind die *K*-Linien  $\alpha_2$ ,  $\alpha_1$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_1$  und  $\beta_2$  der Elemente Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb und Ru (außer Zn  $\beta_3$ , As  $\beta_3$ , Se  $\beta_3$  und Br  $\beta_3$ ) in erster Ordnung ausgemessen worden.

Die vorliegende Arbeit ist eine Fortsetzung der Präzisionsmessungen im kurzwelligem Gebiet der *K*- und *L*-Serien, die seit 1926 mit dem neuen Siegbahnschen Tubusspektrometer von verschiedenen Autoren ausgeführt worden sind. Die Messungen in der *K*-Serie umfassen jetzt die Elemente von 24 Cr bis 50 Sn mit Ausnahme von 31 Ga, 32 Ge, 48 Cd und 49 In.

Das Spektrometer und dessen Einjustierung, sowie das Hochspannungsaggregat sind früher eingehend beschrieben worden\*. Als Gitter wurde der Kalkspatkristall P. K. 2 benutzt. Die Tubuslänge betrug 622,11 mm. Die Spaltbreite war 0,02 bis 0,03 mm.

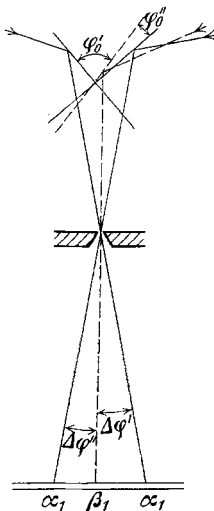


Fig. 1.

Der Glanzwinkel der Linie  $\alpha_1$  wurde nach der Siegbahnschen Umlegungsmethode bestimmt. Die Linie  $\beta_1$ , deren Expositionsdauer im allgemeinen mehrere Stunden betrug, wurde, nach Drehen des Kristalls, zusammen mit einer symmetrischen Doppelaufnahme der  $\alpha_1$  exponiert (Fig. 1).  $180^\circ - \varphi_0'$  und  $\varphi_0''$  sind die Drehungswinkel des Kristalls zwischen der  $\beta_1$ -Exposition und den beiden  $\alpha_1$ -Aufnahmen.  $\Delta\varphi'$  und  $\Delta\varphi''$  sind die aus den Linienabständen auf der Platte berechneten Korrektionswinkel mit geeignetem Zeichen. Wenn die Glanzwinkel der Linien durch  $\alpha_1$  und  $\beta_1$  bezeichnet werden, erhält man aus Fig. 1

$$\begin{aligned}\alpha_1 + \beta_1 &= \varphi_0' + \Delta\varphi', \\ \alpha_1 - \beta_1 &= \varphi_0'' + \Delta\varphi'',\end{aligned}$$

woraus

$$2\beta_1 = (\varphi_0' - \varphi_0'') + (\Delta\varphi' - \Delta\varphi'')$$

\* A. Larsson, Phil. Mag. (7) 3, 1136, 1927; G. Kellström, ZS. f. Phys. 41, 516, 1927.

oder wenn  $\varphi'_0 - \varphi''_0 = 2\varphi_0$  und  $\Delta\varphi' - \Delta\varphi'' = 2\Delta\varphi$ ,  
 $\beta_1 = \varphi_0 + \Delta\varphi$ .

Aus derselben Platte wird also nebst der  $\alpha_1$ -Bestimmung auch eine Messung der  $\beta_1$  erhalten.  $\alpha_2$  wurde relativ zu  $\alpha_1$ ,  $\beta_3$  und  $\beta_2$  relativ zu  $\beta_1$  gemessen. Hierbei wurde die Differentialform der Bragg'schen Gleichung

$$\Delta\lambda = 2d \cos\varphi \Delta\varphi$$

benutzt.

Die Glanzwinkel sind auf  $18^\circ$  reduziert. Da der lineare Ausdehnungskoeffizient des Kalkspats senkrecht zu den reflektierenden Atomebenen  $1,04 \cdot 10^{-5}$  ist, wird der Korrektionswinkel in Sekunden

$$d\varphi = 2,15(t - 18) \text{tg } \varphi.$$

Die Temperatur wurde während einer Exposition in gleichen Zeitintervallen auf  $0,1^\circ$  abgelesen, und das Mittel zur Berechnung des Korrektionswinkels benutzt.

Beim Ausmessen der Platten wurden in einem Gaertnerschen Komparator an vier verschiedene Stellen der Mikrometerschraube je fünf Ablesungen von jeder Linie gemacht.

Um die Einjustierung des Spektrometers zu kontrollieren, wurde  $Mo K\alpha_1$  gemessen, wobei die folgenden Werte erhalten wurden:

Platte Nr.	$\varphi_{18}$	$\lambda$ (X·E.)
Ed 46	$6^\circ 42' 35,6''$	707,839
47	34,7	813
48	34,7	813
49	35,7	842
54	35,6	839
55	35,3	830
56	35,3	830
57	35,7	842
Mittel:	$6^\circ 42' 35,3''$	707,831
Larsson*:	$6^\circ 42' 35,3''$	707,831

Die folgende Tabelle 1 gibt die verwendete Hochspannung (Kilovolt) und die Stromstärke (Milliampere), sowie die Expositionsdauer (Stunden) bei einer  $\alpha$ - bzw.  $\beta$ -Aufnahme. Einige Platten sind um das Doppelte der angegebenen Zeit exponiert, damit  $\beta_3$  meßbar erhalten werde. Die erste Spalte enthält die Form, in welcher das Element an die Antikathode gebracht wurde.

\* A. Larsson, Phil. Mag. (7) 3, 1136, 1927.

Folgende Konstanten sind benutzt:

Gitterkonstante  $d = 3029,040$ ;  $\log 2d = 3,782\ 3350$ .

Rydbergsche Konstante  $\log R = 5,040\ 3531$ .

Tabelle 1.

Element	Präparat	Hochspannung kV	Strom mA	Expositionsdauer Stunden	
				$\alpha_1$	$\beta_1$
30 Zn . . . . .	Metall (Blech)	35	4	0,3	2—3
33 As . . . . .	Trioxyd	35	1,5	0,3	2
34 Se . . . . .	Metall (Pulver)	35	1,5	1,5	4
35 Br . . . . .	Natriumbromid	35	1,5	1	3
37 Rb . . . . .	Metall	35	2	0,5	2
38 Sr . . . . .	Oxyd	40	4	0,5	3
39 Y . . . . .	Oxyd	40	4	0,5	2,5
40 Zr . . . . .	Oxyd	40	4	0,5	2,5
41 Nb . . . . .	Metall (Pulver)	45	8	1,5	4
44 Ru . . . . .	Metall (Körner)	45	6	1	3—5

Die Tabellen 2 und 3 enthalten das Resultat der Absolutbestimmungen der  $\alpha_1$ , nebst einer Vergleichung mit den Messungen von Leide\*,

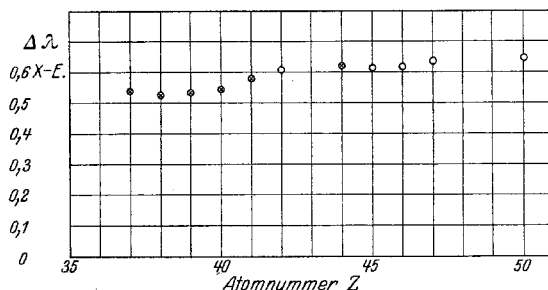


Fig. 2. Wellenlängendifferenz  $\beta_3 - \beta_1$  als Funktion der Atomnummer.

○ frühere Messungen. ⊕ jetzige Messungen.

die unter den schon vorliegenden die genauesten sein dürften. Wie ersichtlich, ist die Übereinstimmung im allgemeinen gut. Tabelle 4 gibt die Messungen der  $\alpha_2$  relativ zu  $\alpha_1$ . Dabei ist  $n$  die Anzahl der Einzelmessungen, aus denen das Mittel genommen ist. Die Bestimmungen der  $\beta_1$  sind in Tabelle 5 und 6 enthalten. Bei den Elementen 30 Zn bis 35 Br konnte die  $\beta_3$ -Linie wegen der Nähe der viel stärkeren  $\beta_1$  nicht ausgemessen werden. Die  $\beta_1$ -Messungen dürften trotzdem von  $\beta_3$  beinahe unbeeinflusst sein. Die schlechte Übereinstimmung mit den Leideschen

\* A. Leide, Diss. Lund 1925; ZS. f. Phys. **39**, 686, 1926.

Tabelle 2. ( $K\alpha_1$ ).

Platte Nr.	Element	$2\varphi_0$	$a$	$2\Delta\varphi$	Temperatur	$\varphi_{18}$	$z$
Ed 1	30 Zn	27° 14' 57,7"	1,0896	+ 6' 1,3"	16,5 <sup>0</sup>	13° 40' 28,5"	1432,173
2		27 14 57,9	1,0879	+ 6 0,7	16,8	28,5	173
3		27 30 3,2	1,6458	- 9 5,6	17,4	28,5	173
4		27 30 2,1	1,6436	- 9 5,0	17,5	28,3	168
5		27 30 0,2	1,6400	- 9 3,8	17,7	28,1	162
Mittel:						13° 40' 28,4"	1432,170
Ed 33	33 As	22° 15' 3,2"	0,9377	+ 5' 10,9"	19,1 <sup>0</sup>	11° 10' 7,5"	1173,445
35		22 30 2,1	1,7728	- 9 47,8	18,6	7,5	445
36		22 30 1,2	1,7717	- 9 47,4	19,0	7,3	440
37		22 15 3,7	0,9348	+ 5 9,9	18,8	7,2	437
59		22 30 3,4	1,7788	- 9 49,8	19,5	7,4	443
60	22 15 1,2	0,9446	+ 5 13,2	18,8	7,5	445	
Mittel:						11° 10' 7,4"	1173,443
Ed 26	34 Se	21° 4' 58,1"	1,2293	- 6' 47,6"	20,8 <sup>0</sup>	10° 29' 6,5"	1102,452
27		20 55 2,3	0,5766	+ 3 11,2	21,2	8,0	495
28		20 55 1,3	0,5755	+ 3 10,8	21,8	7,5	481
65		20 49 55,8	1,5043	+ 8 18,8	18,4	7,4	478
Mittel:						10° 29' 7,4"	1102,477
Ed 29	35 Br	19° 40' 2,2"	0,6098	+ 3' 22,2"	20,9 <sup>0</sup>	9° 51' 43,3"	1037,605
30		19 50 2,4	1,1989	- 6 37,5	18,5	42,7	587
31		19 40 3,6	0,6087	+ 3 21,8	19,1	43,1	599
32		19 50 2,5	1,1984	- 6 37,3	18,0	42,6	584
Mittel:						9° 51' 42,9"	1037,594
Ed 38	37 Rb	17° 30' 1,3"	0,4235	+ 2' 20,4"	19,6 <sup>0</sup>	8° 46' 11,3"	923,645
39		17 40 0,8	1,3877	- 7 40,1	18,9	10,7	628
40		17 40 2,0	1,3906	- 7 41,1	19,2	10,9	634
41		17 40 1,0	1,3885	- 7 40,4	20,0	11,0	637
Mittel:						8° 46' 11,0"	923,636
Ed 16	38 Sr	16° 30' 0,6"	0,8633	+ 4' 46,2"	16,4 <sup>0</sup>	8° 17' 22,9"	873,443
17		16 29 58,9	0,8653	+ 4 46,9	19,8	23,5	460
18		16 39 57,9	0,9431	- 5 12,7	20,1	23,3	454
52		16 40 1,6	0,9561	- 5 17,0	18,7	22,5	431
Mittel:						8° 17' 23,0"	873,447
Ed 11	39 Y	15° 34' 58,1"	1,2101	+ 6' 41,2"	18,8 <sup>0</sup>	7° 50' 49,9"	827,119
12		15 35 3,4	1,1961	+ 6 36,7	18,5	50,2	128
14		15 50 3,0	1,5173	- 8 23,1	17,3	49,8	116
51		15 50 1,8	1,5141	- 8 22,0	18,8	50,1	125
Mittel:						7° 50' 50,0"	827,122
Ed 8	40 Zr	14° 49' 56,5"	0,4886	+ 2' 42,0"	18,4 <sup>0</sup>	7° 26' 19,4"	784,314
9		14 50 0,8	0,4711	+ 2 36,2	18,9	18,7	294
10		15 0 1,5	1,3424	- 7 25,1	19,0	18,5	288
50		14 59 59,5	1,3365	- 7 23,1	19,4	18,6	291
Mittel:						7° 26' 18,8"	784,297
Ed 20	41 Nb	13° 59' 59,2"	1,3161	+ 7' 16,4"	19,9 <sup>0</sup>	7° 3' 38,3"	744,658
21		13 59 56,5	1,3252	+ 7 19,4	19,9	38,5	663
22		14 15 0,7	1,4089	- 7 47,1	20,1	37,4	631
23		14 14 58,4	1,4042	- 7 44,1	20,2	37,8	643
53		14 0 1,4	1,3089	+ 7 14,0	19,1	38,0	649
Mittel:						7° 3' 38,0"	744,649

Tabelle 2 (Fortsetzung).

Platte Nr.	Element	$2\varphi_0$	$a$	$2\Delta\varphi$	Temperatur	$\varphi_{18}$	$\lambda$
Ed 43	44 Ru	12°20' 3,0''	1,8794	— 10' 23,1''	19,2°	6°4' 50,3''	641,721
44		12 20 2,8	1,8774	— 10 22,5	19,5	50,5	727
45		12 4 57,5	0,8556	+ 4 43,7	19,7	51,0	741
63		12 5 0,7	0,8503	+ 4 41,9	18,2	51,3	750
Mittel:						6°4' 50,8''	641,735

Tabelle 3. ( $K\alpha_1$ ).

Element	$\lambda$	$\lambda$ (Leide)	$\frac{v}{R}$	$\sqrt{\frac{v}{R}}$
30 Zn . . . . .	1432,174	1432,06	636,286	25,2247
33 As . . . . .	1173,443	1173,43	776,578	27,8671
34 Se . . . . .	1102,477	1102,42	826,566	28,7501
35 Br . . . . .	1037,594	1037,56	873,252	29,6353
37 Rb . . . . .	923,636	923,60	986,611	31,4104
38 Sr . . . . .	873,447	873,37	1043,303	32,3002
39 Y . . . . .	827,122	827,01	1101,735	33,1924
40 Zr . . . . .	784,297	784,29	1161,894	34,0866
41 Nb . . . . .	744,649	744,57	1223,758	34,9822
44 Ru . . . . .	641,735	641,81	1420,009	37,6830

Tabelle 4. ( $K\alpha_2$ ).

Element	$\Delta\lambda$	$n$	$\lambda$	$\frac{v}{R}$	$\sqrt{\frac{v}{R}}$
30 Zn . . . . .	3,858	(6)	1436,032	634,575	25,1908
33 As . . . . .	3,991	(4)	1177,434	773,945	27,8199
34 Se . . . . .	4,038	(4)	1106,515	823,550	28,6975
35 Br . . . . .	4,070	(4)	1041,664	874,821	29,5774
37 Rb . . . . .	4,125	(4)	927,761	982,225	31,3405
38 Sr . . . . .	4,166	(5)	877,613	1038,350	32,2234
39 Y . . . . .	4,195	(5)	831,317	1096,176	33,1086
40 Zr . . . . .	4,216	(4)	788,513	1155,681	33,9953
41 Nb . . . . .	4,238	(5)	748,887	1216,832	34,8831
44 Ru . . . . .	4,323	(4)	646,058	1410,507	37,5567

Die Tabelle enthält die Mittelwerte aus  $n$  Einzelbestimmungen.

Werten rührt größtenteils davon her, daß er bei geringerer Dispersion  $\beta_1$  und  $\beta_3$  nicht separiert hat. Die Messungen von  $\beta_3$  und  $\beta_2$  relativ zu  $\beta_1$  sind in den Tabellen 7 und 8 enthalten.

Aus Tabelle 8 erhellt, daß die Differenzen  $\beta_3 - \beta_1$  im betreffenden Bereiche beinahe konstant sind. In Fig. 2 sind die  $\Delta\lambda$ -Werte als Funktion der Atomnummern  $Z$  dargestellt, wobei für die Elemente 42, 45,

46, 47 und 50 frühere Messungen mit demselben Spektrometer benutzt sind. Die Schwierigkeit, das  $\beta_1\beta_3$ -Dublett bei niedrigeren Atomnummern aufzulösen, hängt also wesentlich von einer Verbreiterung der Linien ab.

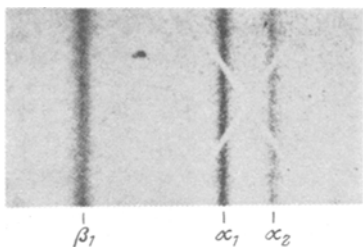


Fig. 3. 30 Zn.

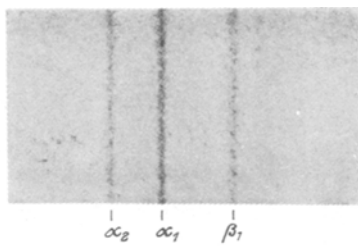


Fig. 4. 33 As.

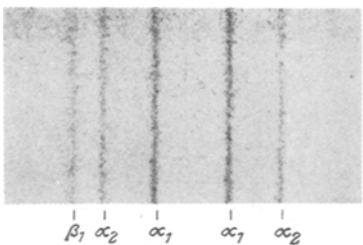


Fig. 5. 35 Br.

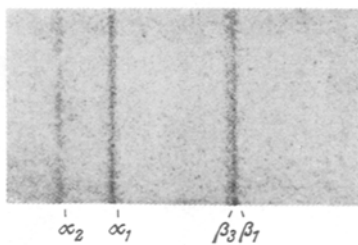


Fig. 6. 37 Rb.

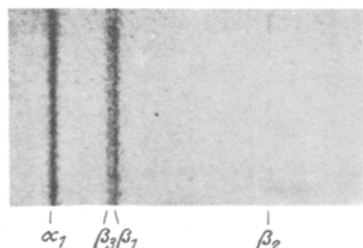


Fig. 7. 38 Sr.

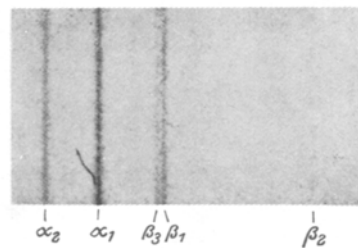


Fig. 8. 40 Zr.

Aufnahmen der  $K\alpha$  und  $K\beta$  (nach Drehen des Kristalls) bei 17facher Vergrößerung.

Diese allgemeine Verbreiterung bei sinkenden Atomnummern ist deutlich aus Fig. 3 bis 8 zu sehen, die einige Aufnahmen der  $K\alpha$ - und  $K\beta$ -Linien (nach Drehen des Kristalls) in 17facher Vergrößerung zeigen.

Tabelle 5. ( $K\beta_1$ ).

Platte Nr.	Element	$2\varphi_0$	$\alpha$	$2\Delta\varphi$	Temperatur	$\varphi_{1s}$	$\lambda$
Ed 3	30 Zn	25° 0' 0,0''	3,9254	- 21' 41,4''	17,6°	12° 19' 9,1''	1292,538
		25 0 3,7	3,9354	- 21 44,8	17,5	9,2	541
		24 59 58,6	3,9166	- 21 38,8	17,7	9,7	558
Mittel:						12° 19' 9,3''	1292,546
Ed 36	33 As	2° 19' 56,9''	2,9641	- 16' 22,8''	19,1°	10° 1' 47,5''	1055,084
		2 4 57,3	0,2446	- 1 21,1	18,9	48,5	113
Mittel:						10° 1' 48,0''	1055,099
Ed 65	34 Se	18° 49' 58,9''	0,2159	- 1' 11,6''	18,3°	9° 24' 23,8''	990,131
Ed 31	35 Br	17° 29' 57,1''	1,9371	+ 10' 42,2''	18,9°	8° 50' 20,0''	930,864
		17 49 55,1	1,6728	- 9 14,5	18,4	20,4	875
Mittel:						8° 50' 20,2''	930,870
Ed 40	37 Rb	15° 59' 57,3''	3,3488	- 18' 30,3''	19,3°	7° 50' 43,9''	826,945
		16 0 11,9	3,3885	- 18 43,6	19,9	44,7	968
Mittel:						7° 50' 44,3''	826,956
Ed 17	38 Sr	14° 50' 4,6''	0,1635	- 0' 54,1''	19,7°	7° 24' 35,7''	781,294
		15 0 1,2	1,9619	- 10 50,5	19,9	36,0	303
Mittel:						7° 24' 35,8''	781,299
Ed 12	39 Y	13° 45' 3,5''	2,8879	+ 15' 57,7''	18,6°	7° 0' 30,8''	739,192
					18,5	30,5	183
Mittel:						7° 0' 30,7''	739,188
Ed 10	40 Zr	13° 29' 59,1''	2,4368	- 13' 27,9''	18,9°	6° 38' 15,9''	700,263
		13 29 51,8	2,4065	- 13 17,9	19,3	17,3	304
Mittel:						6° 38' 16,6''	700,284
Ed 21	41 Nb	12° 19' 54,7''	2,8258	+ 15' 37,0''	20,0°	6° 17' 46,4''	664,382
		12 19 57,5	2,8171	+ 15 34,0	18,9	46,0	370
Mittel:						6° 17' 46,2''	664,376
Ed 44	44 Ru	11° 10' 2,2''	3,7508	- 20' 43,5''	19,4°	5° 24' 39,7''	571,276
		10 34 52,9	2,6264	+ 14 30,9	19,8	42,3	352
Mittel:						5° 24' 41,0''	571,314

Tabelle 6. ( $K\beta_1$ ).

Element	$\lambda$	$\lambda$ (Leide)	$\frac{r}{R}$	$\sqrt{\frac{r}{R}}$
30 Zn	1292,546	1292,60	705,019	26,5522
33 As	1055,099	1055,18	863,684	29,3885
34 Se	990,131	990,25	920,352	30,3373
35 Br	930,870	930,84	978,945	31,2881
37 Rb	826,956	827,03	1101,956	33,1957
38 Sr	781,299	781,53	1166,353	34,1519
39 Y	739,188	739,31	1232,799	35,1112
40 Zr	700,284	700,47	1301,287	36,0734
41 Nb	664,376	664,49	1371,617	37,0353
44 Ru	571,314	571,43	1595,041	39,9380

Tabelle 7. ( $K\beta_2$  rel.  $K\beta_1$ .)

Element	$\Delta\lambda$	$n$	$\lambda$	$\frac{r}{R}$	$\sqrt{\frac{r}{R}}$
30 Zn . . . . .	11,478	(1)	1281,068	711,336	26,6709
33 As . . . . .	12,292	(1)	1042,807	873,862	29,5612
34 Se . . . . .	12,219	(1)	977,912	931,852	30,5263
35 Br . . . . .	12,342	(1)	918,528	992,098	31,4976
37 Rb . . . . .	12,198	(2)	814,758	1118,454	33,4433
38 Sr . . . . .	12,092	(2)	769,207	1184,687	34,4193
39 Y . . . . .	12,055	(1)	727,133	1253,236	35,4011
40 Zr . . . . .	11,783	(2)	688,501	1323,556	36,3807
41 Nb . . . . .	11,579	(1)	652,797	1395,947	37,3624
44 Ru . . . . .	10,801	(1)	560,513	1625,778	40,3209

Tabelle 8. ( $K\beta_3$  rel.  $K\beta_1$ .)

Element	$\Delta\lambda$	$n$	$\lambda$	$\frac{r}{R}$	$\sqrt{\frac{r}{R}}$
37 Rb . . . . .	0,538	(2)	827,494	1101,240	33,1849
38 Sr . . . . .	0,529	(2)	781,828	1165,563	34,1403
39 Y . . . . .	0,536	(2)	739,724	1231,905	35,0985
40 Zr . . . . .	0,545	(2)	700,829	1300,275	36,0593
41 Nb . . . . .	0,580	(1)	664,956	1370,418	37,0192
44 Ru . . . . .	0,616	(2)	571,930	1593,324	39,9165

$n$  = Anzahl der Einzelmessungen.

Meinem hochgeehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. M. Siegbahn, bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie für die ausgezeichnete Apparatur, die er mir zur Verfügung stellte, zu großem Dank verpflichtet.