

## Über die *N*-Serie der Röntgenspektren.

Von V. Dolejšek.

Mit zwei Abbildungen. (Eingegangen am 9. Mai 1922.)

Vor kurzem ist ein vervollkommneter Spektrograph im Lunder Institute konstruiert und in der ZS. f. Phys. beschrieben worden<sup>1)</sup>. Diese vervollkommnete Apparatur wurde mir von Herrn Prof. Siegbahn in freundlichster Weise zur Verfügung gestellt und dadurch wurde die vorliegende Untersuchung ermöglicht. Außerdem hat zur Erzielung der Resultate hauptsächlich beigetragen, daß ich jetzt eine neue Art<sup>2)</sup> von photographischen Platten benutzt habe, die für die in dieser Arbeit in Betracht kommenden langwelligen Strahlen besonders empfindlich waren.

Untersucht wurden die Elemente Uran, Thorium und Wismut. Sowohl bei den Aufnahmen wie bei der Identifizierung der Linien stellten sich mannigfache Hindernisse in den Weg. Die wesentlichsten sind:

1. starke Absorption der Strahlen in der Spaltbedeckung;
2. Überlagerung der *M*-Linien in höheren Ordnungen;
3. Schwärzung der Platte durch die diffuse Strahlung und durch Licht von der Antikathode;
4. eigene Breite der Linien (welche speziell bei den großen Glanzwinkeln sich bemerkbar macht) und damit zusammenhängende Einbuße an Intensität.

Die günstigsten Expositionszeiten waren nicht länger als eine halbe bis eine ganze Stunde. Längere Aufnahmen brachten keinen Vorteil wegen der allgemeinen Schwärzung der Platte. Deswegen habe ich auch bei jeder Aufnahme nur kleine Winkelgebiete (gewöhnlich 1°) aufgenommen. An den Stellen, wo Linien gefunden wurden, sind mehrere Aufnahmen (gewöhnlich mit um 30' verschobenem Kristall) genommen worden.

Am Anfang, wo ich mit sehr schmalen Spalt gearbeitet habe (0,02 bis 0,03 mm), habe ich trotz aller Versuche nur Linien bekommen, welche sich als höhere Ordnungen der *M*-Linien erwiesen haben. Im allgemeinen lassen sich die Linien höherer Ordnung<sup>3)</sup> in diesem Falle

<sup>1)</sup> M. Siegbahn, ZS. f. Phys. 9, 68, 1922.

<sup>2)</sup> „Eclipse“-Imperialplatten.

<sup>3)</sup> Hauptsächlich sind gemeint die *M*-Linien des betreffenden Elementes.

nicht vermeiden, weil man, um die *N*-Linien zu erhalten, mit großer Energie arbeiten muß. Um dies zu erreichen, kann man nicht mit Spannungen arbeiten, die kleiner sind als die kritische Erregungsspannung der *M*-Reihe. Es ist leicht einzusehen, daß gerade die Intensität solcher Linien, welche schon bei sehr schmalen Spalt ganz breit und diffus sind, und welche also ein endliches Frequenzbereich darstellen, in hohem Maße von der Spaltbreite abhängt. Weitere Aufnahmen sind dann mit einer Spaltbreite von etwa 0,1 mm gemacht worden. Die von dem Antikathodenmaterial herrührenden Linien waren leicht durch Auswechslung des Antikathodenmaterials zu eliminieren. Alle erhaltenen Linien sind dann weiter eingehend geprüft worden, um Linien höherer Ordnung auszuschneiden, und zwar in folgender Weise:

1. durch Absorptionsversuche<sup>1)</sup>,
2. durch Vergleichung der Aufnahmen, die mit verschiedenen Kristallen erhalten sind (Gips, Zucker).

Nach dem ersten Verfahren wurde Aluminiumfolie von 0,007 mm Dicke oder dünnes schwarzes Papier zwischengeschaltet. Mit der Folie wurde die obere Hälfte der Platte überdeckt, so daß man auf der Platte gleichzeitig die ungeschwächte Linie und die Linie nach dem Durchgang durch die Folie bekam. Bei den Wellenlängen bis 9 Å.-E. kann man mit obiger Al-Folie gut auskommen, weil sie die Wellenlängen oberhalb 6 Å.-E. (*P-Kα*) vollkommen absorbiert, dagegen die Wellenlängen bis etwa 5 Å.-E. merkbar durchläßt. Bei den untersuchten längeren Wellen, wo die Werte der *M*-Linien etwa 5 bis 6 Å.-E. sein können (zerstäubtes Wolfram aus der Glühspirale), ist schwarzes Papier benutzt worden, von welchem z. B. die Na-*Kα*-Linie (11 Å.-E.) vollkommen absorbiert wurde. In zweifelhaften Fällen habe ich außerdem an den betreffenden Stellen in ersten Ordnung gesucht, ob dort vielleicht eine bisher unbekannte *M*-Linie oder irgend eine andere Linie liegen könnte. Zu der weiteren Entscheidung hat außerdem das verschiedene Reflexionsvermögen von Gips und Zuckerkristall für verschiedene Wellenlängen und Ordnungen viel beigetragen. Wie aus einigen Kontrollversuchen hervorging, werden im allgemeinen von dem Zuckerkristall die Linien in höherer Ordnung verhältnismäßig viel intensiver reflektiert als die Linien erster Ordnung, während beim Gipskristall das Umgekehrte der Fall ist. Doch ist es gelungen, auch mit dem Zuckerkristall die meisten der Linien zu erhalten. Dieser

---

<sup>1)</sup> Dieses Verfahren ist schon früher von Coster benutzt worden (Phil. Mag. Juni 1922).

Sachverhalt gibt ein geeignetes Mittel, um zu entscheiden, ob eine Linie in erster Ordnung auftritt oder nicht. Tabelle 1, 2, 3 geben die Werte der gefundenen Linien bei U, Th und Bi, welche wahrscheinlich der *N*-Serie angehören.

Tabelle 1. Uran 92.

Platte	Linie	$\varphi$	$\varphi$	$\lambda$	$\nu/R$
103	} $N_7 P_1$	34° 32,2'	} 34° 32,6'	8 594	105,90
102		34 33,1			
101	} $N_7 P_2$	35 01,5	} 35 02,0	8 700	104,74
102		35 02,5			
18	} $N_6 O_2$	40 37	} 40 36,6	9 876	92,28
19		40 37,4			
20		40 36			
21		40 36,6			
103		40 36			
20	} $N_7 O_3$	41 40,5	} 41 38	10 080	90,40
21		41 37,6			
103		41 39			
107	} $N_5 O_2$	56 57,2	} 56 56,7	12 702	71,74
108		56 56,3			
110		56 56,3			
107	} $N_5 O_1$	57 29,0	} 57 28,1	12 777	71,32
108		57 27,0			
110		57 28,2			
107	} $N_6 O_5$	58 02,9	} 58 01,5	12 856	70,88
108		58 00,1			
110					

Tabelle 2. Thor 90.

Platte	Linie	$\varphi$	$\varphi$	$\lambda$	$\nu/R$
57	} $N_7 P_1$	26° 07'	} 26° 07,7'	9 310	97,88
58		26 08,4			
57	} $N_7 P_2$	26 28,0	} 26 29	9 427	96,67
58		26 29,9			
37 a	} $N_7 O_3$	49 04	} 49 04,0	11 462	79,50
37 b		49 03,5			
40		49 04,6			
37 a	} $N_6 O_2$	49 32,6	} 49 32,4	11 542	78,86
37 b		49 31,4			
38		49 32,0			
40		49 33,8			
44		49 32,8			
46	$N_5 P_3$	59 53,5	59 53,5	13 111	69,50
46	$N_5 O_2$	60 25,3	60 25,3	13 181	69,14
46	$N_5 O_1$	60 53,5	60 53,5	13 255	68,67

Tabelle 3. Bi 83.

Platte	Linie	$\varphi$	$\varphi$	$\lambda$	$\nu/R$
112	$N_7 P_1$	$59^{\circ}23,6'$	$59^{\circ}23,6'$	13 040	69,9
112	$N_7 P_2$	60 06,5	60 06,5	13 140	69,4

Für die Identifizierung der gefundenen Linien mit den  $N$ -Linien spricht auch der Vergleich mit der Theorie. Bekanntlich ist es in der letzten Zeit gelungen, für die Röntgenspektren der schwersten Elemente ein einfaches und sehr befriedigendes Schema aufzustellen<sup>1)</sup>, in welches die meisten der gemessenen Linien im  $K$ -,  $L$ - und  $M$ -Gebiet eingereiht werden können. Für die Elemente in der Umgebung des Edelgases Niton (86) hat man in Übereinstimmung mit Bohrs Theorie nach diesem Schema sieben  $N$ -, fünf  $O$ - und drei  $P$ -Niveaus. In Fig. 1

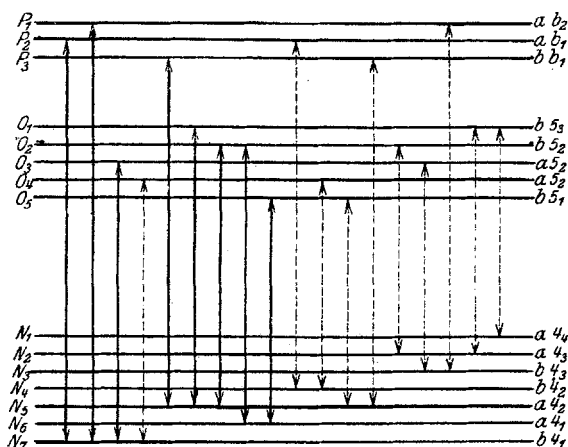


Fig. 1.

sind die Niveaus eingetragen. Jedes Niveau ist charakterisiert durch ein Quantensymbol der Form  $n_k$  ( $n$  bedeutet die totale,  $k$  die azimutale Quantenzahl). Weiter steht bei jedem Niveau der Buchstabe  $a$  oder  $b$ . Die Übergänge sind nach Coster den folgenden Bedingungen unterworfen: 1. die azimutale Quantenzahl soll sich um eine Einheit ändern oder sie soll konstant bleiben. 2. Die Übergänge finden nur statt von einem  $a$ -Niveau nach einem  $b$ -Niveau oder umgekehrt. (Nicht von  $a$  nach  $a$  oder von  $b$  nach  $b$ .)

<sup>1)</sup> D. Coster, ZS. f. Phys. **5**, 139, 191 und **6**, 185, 1921; Arch. Néerl. (3 A) **6**, 76, 1922, Heft 1; Phil. Mag. Juni 1922. Vgl. auch: A. Smekal, ZS. f. Phys. **5**, 91, 121, 1921. G. Wentzel, ZS. f. Phys. **6**, 84, 1921 und **8**, 85, 1921.

Alle Linien im  $N$ -Gebiet, welche nach diesem Schema möglich sind, wurden in die Fig. 1 eingetragen. Durch die gezogenen Linien sind solche Übergänge, welche mit den Werten der gefundenen Linien übereinstimmen, dargestellt. In Tabelle 4, 5, 6 sind die Frequenzwerte

Tabelle 4. U 92.

Linie	$\nu/R$ gem.	$\nu/R$ ber.	Kombination	
$N_7 P_1$	105,9	105,5	$L_1 - \beta_6$ 1264,2 - 1158,7	$P_1 P_2$ -Niveau bisher nicht getrennt.
$N_7 P_2$	104,7			
$N_6 O_2$	92,3	91,0	$L_2 - \gamma_2 - (L_2 - \gamma_6)$ 1603,4 - 1507,8 - (1542,4 - 1537,8)	Fällt m. d. $M$ -Linie zusammen; gemessen bei Th.
$N_7 O_3$	90,4	90,5	$L_1 - \beta_6 - (L_3 - \gamma_4)$ 1264,2 - 1158,7 - (1603,4 - 1588)	
$N_5 P_3$	—	77,6	$L_3 - \gamma_3 - P_3$ 1604,0 - 1526,4 - $P_3$	
$N_5 O_2$	71,8	72,4	$L_3 - \gamma_3 - (L_2 - \gamma_6)$ 1603,4 - 1526,4 - (1542,4 - 1537,8)	
$N_5 O_1$	71,3	71,3	$L_3 - \gamma_3 - (L_1 - \beta_6)$ 1603,4 - 1526,4 - (1264,2 - 1258,4)	
$N_6 O_5$	70,9	69,5	$L_3 - \gamma_2 - (L_1 - \beta_7)$ 1603,4 - 1507,8 - (1264,2 - 1238,1)	

Tabelle 5. Th 90.

Linie	$\nu/R$ gem.	$\nu/R$ ber.	Kombination	
$N_7 P_1$	97,9	97,9	$L_1 - \beta_6$ 1200,7 - 1102,8	$P_3$ nicht abgezogen.
$N_7 P_2$	96,9			
$N_6 O_2$	78,9	76,5	$L_2 - \gamma_2 - (L_2 - \gamma_6)$ 1509,7 - 1428 - (1451,5 - 1446,2)	
$N_7 O_3$	79,5	79,5	$L_1 - \beta_6 - (L_3 - \gamma_4)$ 1200,7 - 1102,8 - (1509,7 - 1491)	
$N_5 P_3$	69,5	73,7	$L_3 - \gamma_3 - P_3$ 1509,7 - 1436 - $P_3$	
$N_5 O_2$	69,1	68,5	$L_3 - \gamma_3 - (L_2 - \gamma_6)$ 1509,7 - 1436 - (1451,5 - 1446,2)	
$N_5 O_1$	68,7	68,1	$L_3 - \gamma_3 - (L_1 - \beta_6)$ 1509,7 - 1436 - (1200,7 - 1194,9)	Zu langwellig; etwa 15 Å.-E. gem. bei Ur.
$N_6 O_5$	—	50	$L_3 - \gamma_2 - (L_1 - \beta_7)$ 1509,7 - 1428 - (1200,7 - 1177)	

Tabelle 6. Bi 83.

Linie	$\nu/R$ gem.	$\nu/R$ ber.	Kombination	
$N_7 P_1$	69,9	70,8	$L_1 - \beta_6$ 989,8 - 919,0	
$P_7 P_3$	69,4			

der gefundenen Linien mit den berechneten Werten zusammengestellt. In der ersten Spalte wurde der betreffende Übergang angegeben, in der zweiten Spalte die gemessene Frequenz, in der dritten Spalte die berechnete Frequenz. In der vierten Spalte ist angegeben, aus welchen Daten (mit Hilfe des oben erwähnten Schemas) die Frequenzen berechnet worden sind. Die Werte der Frequenzen der  $L$ -Linien wurden Costers Arbeiten entlehnt. Für die Werte der  $L$ -Grenzen sind eingesetzt die Werte, welche man aus den  $L$ -Linien und aus den von Stenström<sup>1)</sup> und Coster<sup>2)</sup> gemessenen  $M$ -Grenzen berechnen kann.

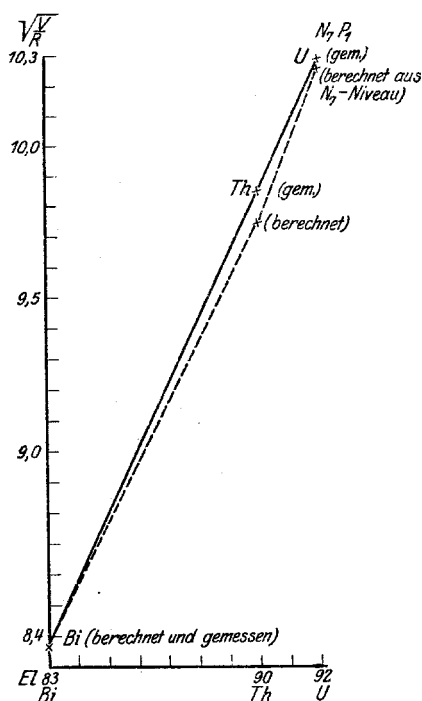


Fig. 2.

Dadurch ist größere Übereinstimmung erzielt, als mit den Werten von Duane und Patterson<sup>3)</sup>. Das dies berechtigt ist, ist daraus zu ersehen, daß die Linien im allgemeinen besser zu bestimmen sind als die Kanten. Ein Fehler in der Wellenlänge der  $M$ -Kante hat außerdem auf den fraglichen Frequenzwert einen kleinen Einfluß. Es sind dabei immer die zuverlässigsten Werte genommen. Die  $L_1$ -Grenze

<sup>1)</sup> Stenström, Diss. Lund 1919.

<sup>2)</sup> Coster, Phys. Rev. **19**, 20, 1922.

<sup>3)</sup> Duane und Patterson, Proc. Nat. Ac. Washington **6**, 509, 1920.

ist berechnet aus  $M_1$  und  $L\alpha_1$ , die  $L_2$ -Grenze aus  $M_2$  und  $L\beta_1$ , die  $L_3$ -Grenze aus  $M_3$  und  $L\beta_3$ . Die Berechtigung dieses Verfahren kann man auch aus Fig. 2 schließen. Dortselbst wurde eingetragen die härteste Linie, die auch bei Wismut gemessen werden konnte, und welche etwa dieselbe Wellenlänge haben soll, als die (niemals gemessene)  $N_7$ -Grenze. Wie dort zu sehen ist, folgt diese Linie der Moseley-Frequenzbedingung (ebenso wie die korrigierten ausgerechneten  $N_7$ -Werte), die Werte dagegen, die aus den Duane und Pattersonschen  $L$ -Werten berechnet worden sind (gestrichelte Linie), zeigen Abweichungen.

In zwei Fällen war es unmöglich, die Linie, die bei einem Elemente gefunden wurde, bei dem anderen Elemente nachzuweisen. Bei U bei der Linie  $N_5 P_3$  deswegen, weil an dieser Stelle eine  $M$ -Linie in höherer Ordnung erschien, bei Th bei der Linie  $N_6 O_5$ , weil diese außerhalb des erreichbaren Gebietes liegt.

Wie aus den Tabellen ersichtlich, lassen sich alle Linien, welche gefunden worden sind, in das Schema einreihen. Die Übereinstimmung zwischen den gemessenen und berechneten Werten liegt in der Regel ganz innerhalb der Fehlergrenzen. Es soll hier aber bemerkt werden, daß die Frequenz der Linie  $N_7 P_1$  sich nicht genau durch die Frequenzdifferenz  $L_1 - \beta_6$  vorstellen läßt, weil das  $P_1$ -Niveau bei Ur und Th nicht mehr ganz an der Peripherie des Atoms liegt. Daß keine Funkenlinien<sup>1)</sup> auftraten, trotzdem gerade in der  $N$ -Serie viele zu erwarten sind, darf nicht wundern, da die Linien, welche sich in das Diagramm einreihen lassen, schon sehr schwach auf den Platten hervortraten und bekanntlich die Röntgenfunkenlinien im allgemeinen viel schwächer als die „Bogenlinien“ sind.

Die in der Fig. 1 gestrichelten Übergänge, welche man auch erwarten könnte, die aber bisher nicht wahrgenommen wurden, sind mit einer Ausnahme alle von so großen Wellenlängen, daß sie nicht gemessen werden können. Eine solche Ausnahme bildet die Linie  $N_7 O_4$ , welche auf keiner Platte mit Sicherheit gezeigt werden konnte. Es soll hier noch darauf hingewiesen werden, daß, falls meine Identifizierung der Linien richtig ist, es hier zum ersten Male gelungen ist, die relativistischen Feinstrukturdoublets  $P_1 - P_2$  und  $O_1 - O_2$  experimentell aufzuspalten. Berechnet man aus den experimentell gefundenen Werten dieser Doublets nach Sommerfelds Formel die Abschirmungskonstanten, so bekommt man für das  $P_1 - P_2$ -Doublett (Quantenzahlen  $6_2$  und  $6_1$ ) etwa 30, und für das  $O_1 - O_2$ -Doublett (Quantenzahlen  $5_3$

<sup>1)</sup> Wentzel, Ann. d. Phys. 66, 437, 1921.

und  $5_2$ ) etwa 60. Die erste Zahl scheint sehr vernünftig zu sein, die zweite Zahl ist vielleicht etwas größer, als man erwarten möchte.

Da nur von zwei Elementen ein beträchtlicher Teil des *N*-Spektrums aufgenommen werden konnte, ist alles noch ein wenig unsicher; eine weitere Bestätigung bzw. Korrektur der vorliegenden Arbeit könnte aber eine genaue Untersuchung der *M*-Reihe bringen.

Im allgemeinen kann man sagen, daß die Übereinstimmung zwischen der theoretischen Erwartung und den experimentell gefundenen Tatsachen so gut ist, wie man nur hoffen konnte, und daß die gefundenen Linien eine weitere Bestätigung des Schemas geben.

Ich möchte dem Direktor des Lunder Instituts, Herrn Prof. Manne Siegbahn, auch an dieser Stelle für sein großes Interesse und seine wertvollen Ratschläge herzlichst danken.

Lund, Fysiska Institutionen, 2. Mai 1922.

---