HENRY G. J. MOSELEY

Les spectres de haute fréquence des éléments. Deuxième partie

(*The High-Frequency Spectra of the Elements. Part II.*)

Philosophical Magazine, 6ᵉ série, vol. 27, n° 160
(avril 1914), p. 703–713

TRADUCTION FRANÇAISE

LE TEXTE

Moseley mesure les spectres de rayons X d'une quarantaine d'éléments, de l'aluminium à l'or, et montre que la racine carrée de la fréquence de chaque raie croît régulièrement d'un élément au suivant : $\nu = A(N - b)^2$. L'entier N, le *nombre atomique*, est identifié à la charge du noyau en unités élémentaires ; le classement des éléments ne dépend plus du poids atomique, et trois éléments restent à découvrir entre l'aluminium et l'or.

CETTE TRADUCTION

La traduction a été **générée par une IA** (Claude, Anthropic) et n'a pas été relue par un traducteur : pour toute citation, se reporter au texte anglais. Elle garde le vocabulaire de l'époque (« fréquence de Rydberg », « soupape », « terres rares », « erbine ») et la présentation du *Philosophical Magazine* : même format, même caractère, mêmes figures et mêmes tableaux (dont seuls les intitulés sont traduits ; les inscriptions de la fig. 3 restent en anglais). Le texte, plus long en français, court librement d'une page à l'autre : la pagination (703–713) suit celle de l'original, mais pas le contenu de chaque page.

Source : *Phil. Mag.* (6) 27, 703–713 (1914), archive.org :
londonedinburg6271914lond.

LXXX. *Les spectres de haute fréquence des éléments.* Deuxième partie. *Par* H. G. J. Moseley, *M.A.**

La première partie† de ce mémoire exposait une méthode pour photographier les spectres de rayons X, et donnait les spectres d'une douzaine d'éléments. Plus de trente autres éléments ont été étudiés depuis, et l'on a trouvé des lois simples qui gouvernent les résultats et permettent de prédire avec confiance la position des raies principales dans le spectre de tout élément de l'aluminium à l'or. La présente contribution est une revue générale préliminaire, qui ne prétend être ni complète ni très précise.

Une méthode un peu différente pour photographier ces spectres a été mise au point indépendamment par de Broglie‡ et par Herweg§. Ce dernier confirme de près les angles donnés par Moseley et Darwin‖ pour la réflexion des rayons du platine sur la sélénite. De Broglie trouve un accord moins satisfaisant pour la réflexion sur le sel gemme. De Broglie a aussi étudié les spectres de W et de Au, et a obtenu pour Cu et Fe des résultats semblables à ceux de la première partie.

La méthode expérimentale générale est restée la même et n'a pas besoin d'être décrite à nouveau. Le même cristal de ferrocyanure de potassium a servi d'analyseur dans toutes les mesures. La netteté des raies de courte longueur d'onde a été beaucoup améliorée en réduisant la largeur de la fente de

* Communiqué par l'auteur.

† Moseley, Phil. Mag. xxvi. p. 1024 (1913).

‡ De Broglie, *C. R.* 17 nov., 22 déc. 1913, 19 janv., 2 févr., 2 mars 1914.

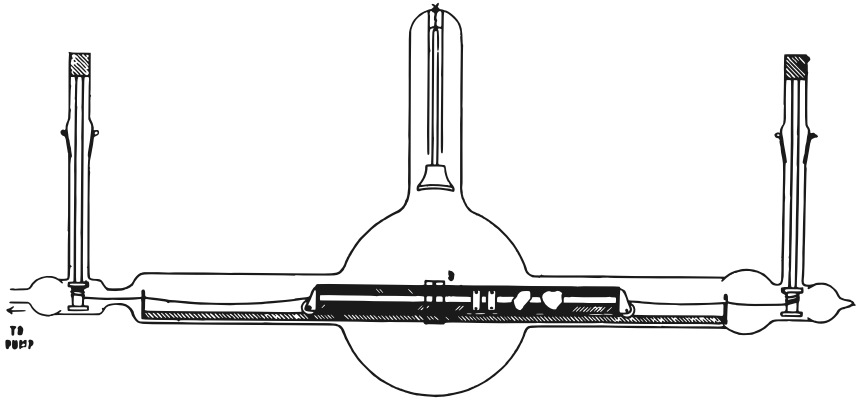
§ Herweg, *Verh. d. D. Phys. Ges.* xvi. p. 73, janv. 1914.

‖ Moseley et Darwin, Phil. Mag. xxvi. p. 210 (1913).

définition à environ 0 · 2 mm. Le type de tube à rayons X le plus commode est dessiné à l'échelle sur la fig. 1. Le chariot d'aluminium qui porte les anticathodes peut être tiré dans un sens et dans l'autre au moyen d'une ligne de pêche en soie enroulée sur des bobines de laiton. Un écran de fer S, fixé aux rails, est muni d'une fine fente verticale qui définit le faisceau de rayons X. Cette fente doit être placée exactement en face du foyer du flux cathodique, mais on peut corriger une petite erreur en déviant les rayons cathodiques avec un aimant. Les rayons X sortent par un tube latéral de $2^1/_2$ cm de diamètre, fermé par une fenêtre d'aluminium de 0 · 022 mm d'épaisseur. Le tube à rayons X, d'une capacité de plus de 3 litres, était vidé par une pompe à mercure de Gaede, que je dois au prêt du Balliol College.

Les rayonnements de grande longueur d'onde ne peuvent traverser une fenêtre d'aluminium ni plus d'un centimètre ou deux d'air. Il fallait donc, dans ce cas, prendre les photographies à l'intérieur d'un spectromètre vide d'air. La fig. 2 donne une coupe verticale, à l'échelle, du tube à rayons X et du spectromètre. Le tube se compose d'une ampoule contenant la cathode, reliée par une très grande pièce de verre en T à un long tube de 4 cm de diamètre, dans lequel se trouvent les rails R et le chariot C. S est la fente de définition, et W une fenêtre de baudruche qui sépare le tube du spectromètre. Cette matière, d'ordinaire étanche à l'air, bien qu'il faille parfois la vernir, est extrêmement transparente aux rayons X. Une fenêtre circulaire de 2 cm de diamètre résiste facilement

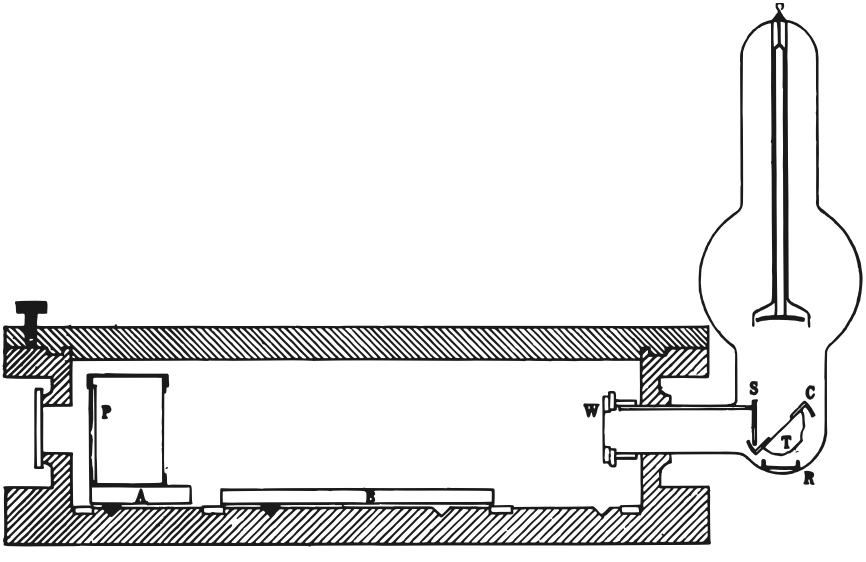
Fig. 1.



à la pression atmosphérique si on ne la dérange pas. Dans ces expériences, toutefois, on soulageait la pression chaque fois que l'on faisait le vide dans le spectromètre, et dans ces conditions la baudruche devait souvent être renouvelée. Le spectromètre, construit spécialement pour ce travail, est une solide boîte circulaire de fer de 30 cm de diamètre intérieur et de 8 cm de hauteur, fermée par un couvercle qui, lorsque la bride est graissée, forme un joint étanche. Deux rainures concentriques sont creusées dans le fond de la boîte. La table A, qui porte le châssis photographique, repose sur trois billes d'acier, dont deux roulent dans la rainure extérieure, tandis que la troisième repose sur le fond de la boîte. La position de la table du cristal B est réglée de même par la rainure intérieure. Cette construction géométrique d'un spectromètre est bien connue. Les échelles sont fixées à la boîte, et les verniers aux tables. Pour ces rayons très mous, l'absorption par le papier noir qui couvre le devant du châssis devenait gênante, et l'on employait à la place deux feuilles de papier de soie noir.

On a employé comme anticathodes des morceaux des éléments purs, généralement épais de plusieurs millimètres, dans le cas de Mg, Al, Si, Mo, Ru, Pd, Ag, Sb, Ta. Des feuilles telles que Rh, W, Au étaient soudées à l'argent ou brasées sur du cuivre. On a employé Os sous forme d'un mince dépôt

Fig. 2.



chimique sur du cuivre. Les alliages employés étaient ZrNi (70 pour cent), WFe (50 pour cent), NbTa (50 pour cent) et SnMn (50 pour cent). KCl et les oxydes des terres rares étaient frottés sur la surface de plaques de nickel rendues rugueuses à la poudre d'émeri grossière. La seule difficulté sérieuse des expériences vient de la chaleur produite par le bombardement cathodique, et de la libération de gaz et de la destruction de la surface de l'anticathode qui en résultent. Il faut donc employer l'élément sous une forme qui ne soit pas trop volatile, et l'on ne peut employer de décharge très puissante. La durée totale d'une pose, repos compris, variait de trois minutes pour une substance telle que le ruthénium, que l'on pouvait chauffer sans danger, à trente minutes pour les oxydes des terres rares. Rappelons encore l'importance d'une bonne soupape à haute tension.

Les oxydes de Sa, Eu, Gd, Er m'ont été donnés par Sir William Crookes, O.M., à qui je tiens à exprimer ma sincère reconnaissance. Je dois le prêt de l'Os et d'un bouton de Ru à MM. Johnson Matthey. Les alliages venaient de la Metallic Compositions Co., et les oxydes de La, Ce, Pr, Nd et Er du D^{r} Schuchardt, de Görlitz.

Presque toutes les raies ont été photographiées dans deux ordres différents, et l'on a mesuré comme précédemment les doubles angles de réflexion à $0° \cdot 1$ près, et parfois à $0° \cdot 05$ près. Dans certaines séries d'expériences, une petite erreur, due à ce que la surface du cristal n'était pas exactement sur l'axe du spectromètre, produisait un désaccord systématique entre les résultats obtenus par réflexion dans des ordres différents. On a trouvé que cette erreur, qui ne changeait jamais l'angle de réflexion de plus de $0° \cdot 05$, se mesurait plus exactement d'après l'importance de ce désaccord que par l'observation directe du cristal. Une correction plus importante était nécessaire avec l'appareil pour grandes longueurs d'onde. Dans ce cas, la fente et la photographie ne sont pas à égale distance du cristal, et la position des raies sur la plaque ne cesse pas de dépendre de l'angle sous lequel le cristal est placé. Les corrections nécessaires ont été calculées géométriquement, et vérifiées en photographiant la même raie par réflexion à droite et à gauche, avec le cristal placé sous divers angles.

Dans l'étude des très courtes longueurs d'onde, la réflexion du rayonnement général hétérogène a causé quelque gêne. Ce rayonnement est toujours une part importante du rayonnement d'un tube à rayons X, mais avec un tube dur il se décompose par réflexion surtout en constituants de très courte longueur d'onde, et ne gêne donc pas, d'ordinaire, les spectres de raies. Ce n'est qu'avec un tube extrêmement mou, joint

à des précautions contre l'absorption par l'air, que les constituants réfléchis sous de grands angles deviennent notables. Lorsqu'on examine un spectre tel que celui de Ag dans la série K, la réflexion générale est inévitable. Malheureusement, photographiée, elle prend la forme de franges irrégulières, qui masquent efficacement les raies faibles du spectre. Un changement d'anticathode, la position de la fente et du cristal restant la même, ne change pas l'aspect des franges, ce qui prouve qu'elles sont dues au rayonnement général hétérogène. Il est facile de montrer que les franges ne sont qu'une image très raccourcie de plages de la surface du cristal qui réfléchissent exceptionnellement bien. La manière dont elles se déplacent et s'étalent latéralement quand on tourne le cristal le prouve, de même que l'observation de Barkla* : lorsqu'on déplace le cristal latéralement, les franges se déplacent avec lui. Il est facile d'imaginer des moyens de se débarrasser des franges. D'abord, en rétrécissant la fente ou en augmentant la distance au cristal, on diminue leur intensité par rapport à celle du spectre de raies. Ensuite, en tournant le cristal, on déplace et on brouille les franges, sans altérer la netteté des raies, pourvu que la fente et la photographie soient à égale distance de la surface réfléchissante†. Les mesures quantitatives de Moseley et Darwin‡ sur la réflexion du rayonnement général ont dû être peu affectées par ces franges, puisque le faisceau incident était réduit à un pinceau très étroit qui tombait toujours sur la même partie du cristal.

Les résultats obtenus pour les rayonnements de la série K de Barkla sont donnés dans le tableau I ; pour la commodité, on y a joint les nombres déjà donnés dans la première partie. On a calculé la longueur d'onde λ à partir de l'angle de réflexion rasante θ par la relation $n\lambda = 2d \sin\theta$, en prenant pour d la valeur $8 \cdot 454 \times 10^{-8}$ cm. Comme précédemment, la raie la plus intense est appelée α et la suivante β. La racine carrée de la fréquence de chaque raie est portée sur la fig. 3, et l'on peut lire les longueurs d'onde à l'aide de l'échelle placée en haut du diagramme.

Le spectre de Al n'a été photographié que dans le premier ordre. Les éléments très légers donnent plusieurs autres raies plus faibles, qui n'ont pas encore été entièrement étudiées, tandis que les résultats pour Mg et Na sont assez compliqués et s'écartent apparemment des relations simples qui relient

* Barkla et Martyn, Proc. Phys. Soc. London (1913).

† Moseley, *loc. cit.* p. 1025. Voir aussi W. H. et W. L. Bragg, Proc. Roy. Soc. A, lxxxviii. p. 428 (1913).

‡ Moseley et Darwin, *loc. cit.*

TABLEAU I.

	a raie $\lambda \times 10^8$ cm	Q_K.	N. Nombre atomique.	β raie $\lambda \times 10^8$.
Aluminium	8 · 364	12 · 05	13	7 · 912
Silicium	7 · 142	13 · 04	14	6 · 729
Chlore	4 · 750	16 · 00	17	. . . . .
Potassium	3 · 759	17 · 98	19	3 · 463
Calcium	3 · 368	19 · 00	20	3 · 094
Titane	2 · 758	20 · 99	22	2 · 524
Vanadium	2 · 519	21 · 96	23	2 · 297
Chrome	2 · 301	22 · 98	24	2 · 093
Manganèse	2 · 111	23 · 99	25	1 · 818
Fer	1 · 946	24 · 99	26	1 · 765
Cobalt	1 · 798	26 · 00	27	1 · 629
Nickel	1 · 662	27 · 04	28	1 · 506
Cuivre	1 · 549	28 · 01	29	1 · 402
Zinc	1 · 445	29 · 01	30	1 · 306
Yttrium	0 · 838	38 · 1	39	. . . . .
Zirconium	0 · 794	39 · 1	40	. . . . .
Niobium	0 · 750	40 · 2	41	. . . . .
Molybdène	0 · 721	41 · 2	42	. . . . .
Ruthénium	0 · 638	43 · 6	44	. . . . .
Palladium	0 · 584	45 · 6	46	. . . . .
Argent	0 · 560	46 · 6	47	. . . . .

les spectres des autres éléments. Dans les spectres à partir de l'yttrium, seule la raie a a été mesurée jusqu'ici ; d'autres résultats en ce sens seront donnés dans un mémoire ultérieur. Les spectres de K et de Cl ont tous deux été obtenus au moyen d'une anticathode de KCl, mais il est très improbable que les raies observées aient été attribuées aux mauvais éléments. La raie a des éléments à partir de Y paraissait formée d'un doublet très serré, effet déjà observé par Bragg* dans le cas du rhodium.

Les résultats obtenus pour les spectres de la série L sont donnés dans le tableau II et portés sur la fig. 3. Ces spectres contiennent cinq raies, a, β, γ, δ, ϵ, rangées par longueur d'onde décroissante et par intensité décroissante. Il y a aussi toujours un faible compagnon a' du côté des grandes longueurs d'onde de a, une raie assez faible ϕ entre β et γ, du moins pour les terres rares, et un certain nombre de raies très faibles de longueur d'onde supérieure à celle de a. Parmi celles-ci, a, β, ϕ et γ ont été mesurées systématiquement, afin de voir comment le spectre change d'un élément à l'autre. Si les valeurs ne sont

* Bragg, 'Nature,' 12 mars 1914.

TABLEAU II.

	a raie $\lambda \times 10^8$ cm	Q_L.	N. Nombre atomique.	β raie $\lambda \times 10^8$.	ϕ raie $\lambda \times 10^8$.	γ raie $\lambda \times 10^8$.
Zirconium	6 · 091	32 · 8	40	.....	.....	.....
Niobium	5 · 749	33 · 8	41	5 · 507	.....	.....
Molybdène	5 · 423	34 · 8	42	5 · 187	.....	.....
Ruthénium	4 · 861	36 · 7	44	4 · 660	.....	.....
Rhodium	4 · 622	37 · 7	45	.....	.....	.....
Palladium	4 · 385	38 · 7	46	4 · 168	.....	3 · 928
Argent	4 · 170	39 · 6	47	.....	.....	.....
Étain	3 · 619	42 · 6	50	.....	.....	.....
Antimoine	3 · 458	43 · 6	51	3 · 245	.....	.....
Lanthane	2 · 676	49 · 5	57	2 · 471	2 · 424	2 · 313
Cérium	2 · 567	50 · 6	58	2 · 360	2 · 315	2 · 209
Praséodyme	(2 · 471)	51 · 5	59	2 · 265	.....	.....
Néodyme	2 · 382	52 · 5	60	2 · 175	.....	.....
Samarium	2 · 208	54 · 5	62	2 · 008	1 · 972	1 · 893
Europium	2 · 130	55 · 5	63	1 · 925	1 · 888	1 · 814
Gadolinium	2 · 057	56 · 5	64	1 · 853	1 · 818	.....
Holmium	1 · 914	58 · 6	66	1 · 711	.....	.....
Erbium	1 · 790	60 · 6	68	1 · 591	1 · 563	.....
Tantale	1 · 525	65 · 6	73	1 · 330	.....	1 · 287
Tungstène	1 · 486	66 · 5	74	.....	.....	.....
Osmium	1 · 397	68 · 5	76	1 · 201	.....	1 · 172
Iridium	1 · 354	69 · 6	77	1 · 155	.....	1 · 138
Platine	1 · 316	70 · 6	78	1 · 121	.....	1 · 104
Or	1 · 287	71 · 4	79	1 · 092	.....	1 · 078

pas toujours données pour toutes ces raies, c'est seulement que le travail est incomplet. Les spectres, pour autant qu'on les ait examinés, sont si entièrement semblables qu'il ne fait pas de doute que a, β et γ au moins existent toujours. Souvent γ n'était pas compris dans l'étendue limitée de longueurs d'onde que l'on peut photographier sur une plaque. Parfois des raies n'ont pas été mesurées, soit à cause de leur faiblesse, soit à cause de la proximité gênante de raies dues aux impuretés.

Des raies dues aux impuretés étaient souvent présentes, mais n'ont guère gêné, sauf dans le groupe des terres rares. Deux cas extrêmes se sont présentés. Le spectre de rayons X de la praséodymie a montré qu'elle était formée d'environ 50 pour cent de La, 35 pour cent de Ce et 15 pour cent de Pr. Malheureusement, la position attendue pour la raie a de Pr coïncide avec la position connue de la raie β de La, mais la raie β de Pr était bien visible et avait exactement la longueur d'onde prévue. On a employé deux échantillons d'erbine. L'échantillon acheté contenait 50 pour cent de Er et 50 pour cent d'un autre élément, dont le spectre de rayons

X coïncide avec le spectre calculé pour Ho. L'erbine donnée par Sir William Crookes était évidemment presque pure, mais montrait très faiblement les raies α et β de Ho, ainsi que de faibles raies s'accordant avec α et β de Ds et avec α de Tm I et de Tm II. Le Nd était exempt de La, de Ce et de Pr, mais contenait une proportion notable de Sm. Sm, Eu et Gd paraissaient purs. J'espère achever bientôt l'étude des spectres de ce groupe.

Conclusions.

Sur la fig. 3, les spectres des éléments sont disposés sur des lignes horizontales équidistantes. L'ordre choisi pour les éléments est celui des poids atomiques, sauf dans les cas de A, Co et Te, où il est en désaccord avec l'ordre des propriétés chimiques. On a laissé des lignes vides pour un élément entre Mo et Ru, un élément entre Nd et Sa, et un élément entre W et Os, dont aucun n'est encore connu, tandis que Tm, que Welsbach* a séparé en deux constituants, reçoit deux lignes. Cela revient à attribuer aux éléments successifs une suite d'entiers caractéristiques successifs. D'après ce principe, l'entier N de Al, treizième élément, a été pris égal à 13, et les valeurs de N attribuées ensuite aux autres éléments sont données sur le côté gauche de la fig. 3. Cette manière de faire est justifiée par le fait qu'elle introduit une régularité parfaite dans les spectres de rayons X. L'examen de la fig. 3 montre que les valeurs de $\nu^{\frac{1}{2}}$, pour toutes les raies étudiées, dans la série K comme dans la série L, se placent maintenant sur des courbes régulières, voisines de droites. On le voit plus clairement encore en comparant les valeurs de N du tableau I à celles de

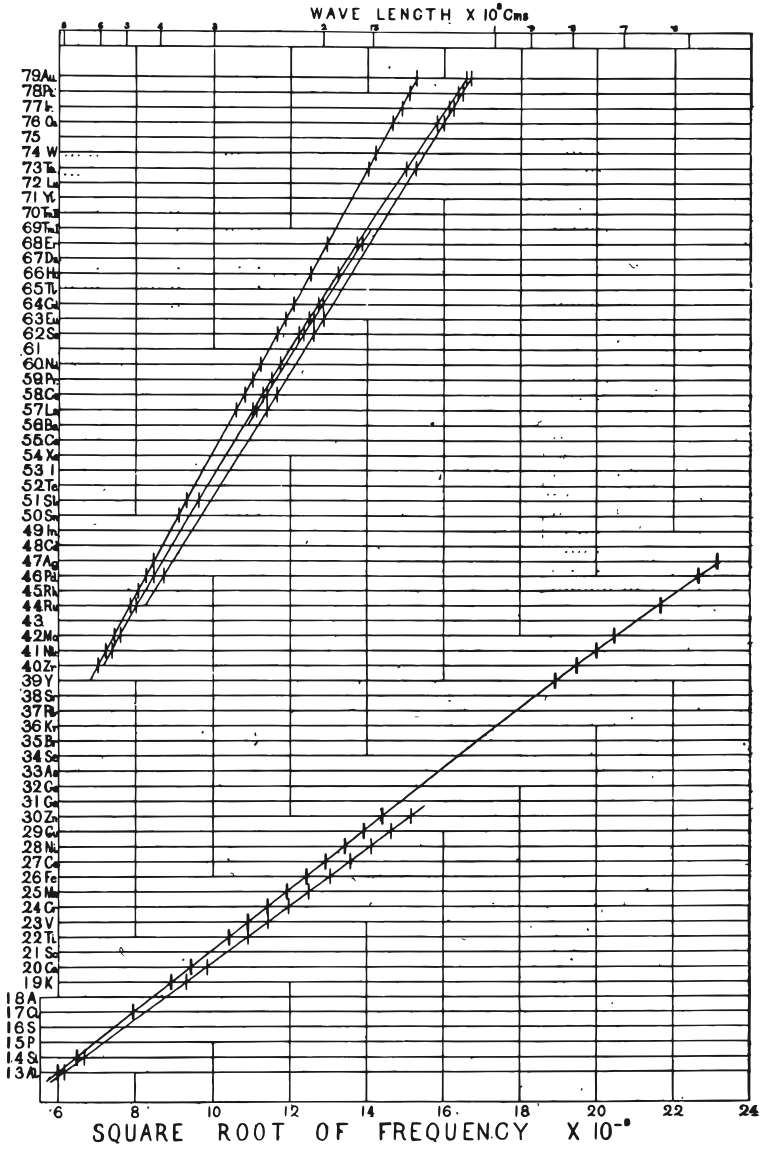
$$\mathrm{Q_K} = \sqrt{\frac{\nu}{\frac{3}{4}\nu_0}},$$

ν étant la fréquence de la raie α et ν_0 la fréquence fondamentale de Rydberg. Il est clair ici que $\mathrm{Q_K} = \mathrm{N} - 1$ avec une très bonne approximation, sauf pour les rayonnements de très courte longueur d'onde, qui s'écartent peu à peu de cette relation. De même, dans le tableau II, la comparaison de N avec

$$\mathrm{Q_L} = \sqrt{\frac{\nu}{\frac{5}{36}\nu_0}},$$

* Welsbach, *Monatsh.* xxxii. p. 373 (1911).

Fig. 3.


WAVE LENGTH X 10⁸ Cms
79Au
78Pt
77Ir
76Os
75
74W
73Ta
72Lu
71Yt
70Tm
69Tm
68Er
67Da
66Ho
65Tl
64Gd
63Eu
62Sa
61
60Nd
59Pr
58Ce
57La
56Ba
55Cs
54Xe
53I
52Te
51Sb
50Sn
49In
48Cd
47Ag
46Pd
45Rh
44Ru
43
42Mo
41Nb
40Zr
39Y
38Sr
37Rb
36Kr
35Br
34Se
33As
32Ge
31Ga
30Zn
29Cu
28Ni
27Co
26Fe
25Mn
24Cr
23V
22Ti
21Sc
20Ca
19K
18A
17Cl
16S
15P
14Si
13Al
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
SQUARE ROOT OF FREQUENCY X 10⁻⁸

où ν est la fréquence de la raie La, montre que $Q_L = N - 7 \cdot 4$ à peu près, bien qu'un écart systématique montre clairement que la relation n'est pas exactement linéaire dans ce cas.

Or, si les éléments n'étaient pas caractérisés par ces entiers, ou si l'on avait fait la moindre erreur dans l'ordre choisi ou dans le nombre de places laissées aux éléments inconnus, ces régularités disparaîtraient aussitôt. Nous pouvons donc conclure, d'après le seul témoignage des spectres de rayons X, sans recourir à aucune théorie de la structure atomique, que ces entiers sont réellement caractéristiques des éléments. De plus, comme il est improbable que deux éléments stables différents aient le même entier, trois éléments, et trois seulement, sont susceptibles d'exister entre Al et Au. Comme on peut prédire avec confiance les spectres de rayons X de ces éléments, il ne devrait pas être difficile de les trouver. L'étude du celtium* serait d'un intérêt exceptionnel, puisque aucune place n'a été attribuée à cet élément.

Or Rutherford† a prouvé que le constituant le plus important d'un atome est son noyau central chargé positivement, et van den Broek‡ a émis l'idée que la charge portée par ce noyau est, dans tous les cas, un multiple entier de la charge du noyau d'hydrogène. Il y a toute raison de supposer que l'entier qui gouverne le spectre de rayons X est le même que le nombre d'unités électriques du noyau, et ces expériences apportent donc le plus fort appui possible à l'hypothèse de van den Broek. Soddy§ a fait remarquer que les propriétés chimiques des radioéléments sont une forte preuve que cette hypothèse est vraie pour les éléments du thallium à l'uranium, de sorte que sa validité générale semblerait maintenant établie.

De la relation à peu près linéaire entre $\nu^{\frac{1}{2}}$ et N, nous tirons pour chaque raie l'équation générale

$$\nu = A\ (N - b)^2,$$

où A et b sont des constantes caractéristiques de chaque raie. Pour la raie Ka,

$$A = \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)\nu_0 \quad \text{et} \quad b = 1.$$

Pour la raie La, à peu près,

* Urbain, *C. R.* clii. p. 141 (1911).

† Rutherford, Phil. Mag. xxi. p. 669 (1911), et xxvii. p. 488 (1914).

‡ Van den Broek, *Phys. Zeit.* xiv. p. 32 (1913), et 'Nature,' 27 nov., 25 déc. 1913, 5 mars 1914.

§ Soddy, *Jahrbuch Rad. und. Elect.* x. p. 193 (1913) ; 'Nature,' 4 déc., 18 déc. (1913).

$$A = \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right)\nu_0 \quad \text{et} \quad b = 7 \cdot 4.$$

Le fait que les nombres et la disposition des raies soient tout à fait différents dans les spectres K et L suggère fortement qu'ils proviennent de systèmes vibrants distincts, tandis que le fait que b soit beaucoup plus grand pour les raies L que pour les raies K suggère que le système L est le plus éloigné du noyau.

On a montré dans la première partie* que la relation linéaire entre $\nu^{\frac{1}{2}}$ et $N - b$ s'expliquait le plus naturellement si le système vibrant était un anneau d'électrons tournant autour du noyau central avec un moment cinétique qui serait le même pour les différents éléments. Cette idée a été analysée et présentée sous une forme plus générale dans une lettre à 'Nature'†, écrite en réponse aux critiques de Lindemann‡.

Résumé.

1. Chaque élément, de l'aluminium à l'or, est caractérisé par un entier N qui détermine son spectre de rayons X. Tout détail du spectre d'un élément peut donc être prédit d'après les spectres de ses voisins.
2. Cet entier N, le nombre atomique de l'élément, est identifié au nombre d'unités positives d'électricité contenues dans le noyau atomique.
3. Les nombres atomiques de tous les éléments de Al à Au ont été dressés en supposant que N vaut 13 pour Al.
4. L'ordre des nombres atomiques est le même que celui des poids atomiques, sauf là où ce dernier est en désaccord avec l'ordre des propriétés chimiques.
5. Aux nombres compris entre 13 et 79 correspondent tous des éléments connus, sauf trois. Il y a donc ici trois éléments possibles encore inconnus.
6. La fréquence de toute raie du spectre de rayons X est à peu près proportionnelle à $A\ (N - b)^2$, où A et b sont des constantes.

Je remercie le professeur J. S. Townsend, F.R.S., de m'avoir accordé toutes facilités pour poursuivre ce travail, qu'a grandement aidé une subvention de l'Institut international de physique Solvay.

Laboratoire d'électricité,
Oxford.

* *Loc. cit.* p. 1032.
† Moseley, 'Nature,' 15 janv. (1914).
‡ F. A. Lindemann, 'Nature,' 1er janv., 5 févr. 1914.