



HAL
open science

La désintégration artificielle des éléments

Ernest Rutherford

► **To cite this version:**

Ernest Rutherford. La désintégration artificielle des éléments. Journal de Physique et le Radium, 1922, 3 (4), pp.133-148. <10.1051/jphysrad:0192200304013300>. <jpa-00204351>

HAL Id: jpa-00204351

<https://hal.science/jpa-00204351v1>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

LA DÉSINTÉGRATION ARTIFICIELLE DES ÉLÉMENTS (1)

par Sir ERNEST RUTHERFORD, F. R. S.

Depuis le développement de la théorie atomique, fondée sur les expériences de Dalton, les progrès de la chimie ont eu pour base la notion de permanence et d'indivisibilité des atomes des éléments. La chimie expérimentale depuis près d'un siècle a clairement démontré qu'il était impossible de briser les atomes des éléments par une application des méthodes ordinaires de la chimie ou de la physique. Cette idée a été un peu modifiée par l'extension rapide prise depuis une vingtaine d'années par nos connaissances sur la constitution interne des atomes. On admet assez généralement aujourd'hui que les atomes des divers éléments ont tous le même type de structure. Au centre de l'atome se trouve un noyau chargé positivement, de dimensions extrêmement petites, mais dont la masse est presque égale à celle de l'atome. Le noyau est entouré par une distribution d'électrons maintenus en équilibre par les forces du noyau. Les électrons occupent, plutôt qu'ils ne remplissent, un volume dont le diamètre est de l'ordre de 2×10^{-8} cm. La charge nucléaire des atomes suit une règle très simple qui a été énoncée par Moseley. La charge nucléaire totale élémentaire d'un atome est égale à son nombre atomique et varie depuis 1 charge électrique dans le cas de l'hydrogène jusqu'à 92 charges élémentaires dans le cas de l'uranium. Ces nombres atomiques représentent en même temps le nombre d'électrons « planétaires » qui entourent le noyau. Dans cette représentation de l'atome, les propriétés physiques et chimiques ordinaires, la masse exceptée, dépendent entièrement de la charge nucléaire, car celle-ci détermine le nombre et l'arrangement des électrons extérieurs, dont dépendent ces propriétés. La masse de l'atome est une propriété du noyau et n'exerce qu'un effet secondaire sur la distribution des électrons et par suite sur les propriétés ordinaires de l'atome. Ce point de vue rend compte de l'existence des isotopes, qui sont des atomes de même charge nucléaire, mais de masses nucléaires différentes. Par l'action de la lumière ou de la décharge électrique, nous pouvons facilement arracher un ou plusieurs électrons extérieurs de l'atome; même, par l'action des rayons X et des rayons β rapides, nous pouvons arracher un électron plus voisin du noyau. Par ce moyen nous pouvons produire une transformation de l'atome; mais ce n'est qu'une transformation temporaire, car un nouvel électron est vite capturé et l'atome revient à son état primitif. Il semble

(1) Conférence faite le 20 avril 1922, devant la Société française de Physique.

évident qu'en général et même dans le cas où plusieurs électrons auraient été enlevés par des moyens convenables, la stabilité du noyau ne serait pas altérée, l'atome reprenant rapidement sa structure initiale.

Pour effectuer dans l'atome un changement *permanent*, il semble donc nécessaire de briser le noyau lui-même. Quand une unité de charge de la structure nucléaire est enlevée, la charge du noyau a subi une altération permanente et il n'est pas certain que ce processus soit réversible dans les conditions ordinaires des expériences.

La découverte de l'instabilité des éléments radioactifs a été le premier échec subi par l'idée de la permanence de tout atome. Les propriétés radioactives sont cependant limitées presque uniquement aux deux éléments les plus lourds, l'uranium et le thorium, et à la longue série de leurs descendants; elles se manifestent aussi, mais avec une activité beaucoup moindre, dans le cas des deux éléments potassium et rubidium. Ces exceptions mises à part, les atomes semblent avoir une structure extrêmement stable; selon toute probabilité, ils restent inaltérés dans les conditions ordinaires réalisées sur la terre pendant des milliards d'années.

La radioactivité est une propriété du noyau; elle se manifeste d'une manière générale par l'émission d'une particule α rapide ou noyau d'hélium, et de temps à autre d'un électron nucléaire rapide. Le nombre et la vitesse d'émission de ces particules semblent n'être nullement influencés par les moyens chimiques et physiques les plus puissants et semblent constituer une propriété intimement liée à l'instabilité de ces noyaux complexes.

Ces résultats démontrent bien que les noyaux des atomes lourds contiennent des noyaux d'hélium chargés positivement, ainsi que des électrons négatifs. Ils conduisent à cette conception générale que le noyau complexe de tout atome est constitué de noyaux d'hydrogène et de noyaux d'hélium et d'électrons. On suppose généralement que le noyau d'hélium lui-même est une unité secondaire composée de quatre noyaux d'hydrogène et de deux électrons. Si cela est vrai, nous pouvons nous imaginer les noyaux de tous les atomes comme composés de noyaux d'hydrogène ou « protons », avec addition d'électrons négatifs.

La radioactivité nous a fourni non seulement la clef du problème de la structure des éléments, mais aussi, grâce aux particules α et β rapides un puissant moyen d'investigation pour scruter la constitution interne de l'atome. En bombardant les atomes de la matière avec des particules α , nous pouvons, d'après les déviations que l'une d'elles subit dans son parcours trouver la loi suivant laquelle les forces varient près du noyau; nous pouvons même nous faire une idée de ses dimensions. Les résultats obtenus

dans cette voie suggèrent que le diamètre du noyau des atomes lourds est de l'ordre de 4×10^{-12} cm, soit 1/5000 du diamètre de l'atome. La loi de répulsion entre charges électriques, proportionnellement à l'inverse carré de la distance, apparaît comme applicable dans un rayon considérable autour du noyau. Sans aucun doute la grandeur des noyaux des atomes légers est encore plus faible, et dans le cas de l'hélium elle semble être de l'ordre de 5×10^{-13} cm. Il est donc clair que les noyaux des atomes, bien que de structure très complexe, sont de dimensions extrêmement petites.

Il est probable que les forces qui maintiennent les diverses parties du noyau sont extrêmement puissantes, et que par conséquent, une quantité d'énergie très grande sera nécessaire pour briser leur structure. L'énergie des particules α rapides du radium et du thorium, parmi les sources d'énergie connues, est de beaucoup la plus concentrée, et semble offrir le moyen le plus efficace pour attaquer l'assemblage solide du noyau. Les particules α sont lancées par le radium avec une vitesse d'environ 16000 kilomètres par seconde; elles possèdent donc une vitesse 20000 fois plus grandes que celle d'une balle de fusil et, à égalité de masse, une énergie cinétique 400 millions de fois plus grande.

Il n'est pas douteux qu'une particule α , projetée directement sur un noyau lourd, puisse pénétrer dans son intérieur, mais son énergie peut être trop petite pour le briser. Nous pouvons espérer mieux d'une attaque sur les atomes plus légers, car les forces de répulsion des noyaux sont alors beaucoup plus petites et la particule α peut pénétrer dans l'édifice nucléaire en conservant une grande partie de son énergie.

Cependant, avant d'étudier les expériences se rapportant à cette question, il est bon de dire quelques mots des collisions de la particule α avec le noyau d'hydrogène. En effet, la rupture de l'atome ne peut être envisagée dans ce cas. Quand les particules α traversent de l'hydrogène gazeux, il se produit de temps à autre une forte collision entre une particule α et un noyau d'hydrogène, et il en résulte l'apparition de noyaux H très rapides. Ces particules H ont un parcours quatre fois plus grand que celui des particules α incidentes, ce dont on peut facilement se rendre compte par les scintillations qu'elles produisent sur l'écran au sulfure du zinc. On trouve que le nombre de ces atomes H rapides est beaucoup plus grand qu'on n'aurait pu le prévoir, en admettant que les particules α et les noyaux d'hydrogène agissent comme des charges ponctuelles pour les très petites distances qu'impliquent ces collisions violentes. De plus, la variation de ce nombre en fonction de la vitesse de la particule α ainsi que le nombre d'atomes projetés dans différentes directions par rapport à la trajectoire de la parti-

culé α incidente diffèrent considérablement de ce qu'on aurait pu s'attendre à trouver en considérant les charges comme ponctuelles.

Il paraît donc évident que la particule α a non seulement une structure particulière, mais aussi que la loi de force a de très courtes distances n'est pas celle de l'inverse du carré de la distance. D'après les recherches soigneuses récemment exécutées par Chadwick et Bieler, on peut conclure que les résultats des collisions peuvent être expliqués en supposant que la particule α , à laquelle on attribue la complexité de forme, se comporte comme un sphéroïde d'axes égaux respectivement à 8×10^{-13} et 5×10^{-13} cm. En dehors de cette surface, la loi de l'inverse du carré de la distance s'applique, mais les forces augmentent si rapidement quand le noyau H entre dans la surface sphéroïdale, qu'il est rapidement rejeté. Ce modèle du noyau d'hélium est sans doute artificiel, mais cela donne une idée des dimensions probables de la région où des forces puissantes et nouvelles agissent.

Par conséquent, nous pouvons dire par anticipation que, dans le cas d'une forte collision entre une particule α rapide et le noyau d'un atome plus complexe que celui de l'hydrogène, les lois ordinaires des forces ne s'appliquent plus quand les distances qui les séparent deviennent très petites. On doit se rappeler que des forces gigantesques agissent dans ces collisions nucléaires; seules des structures très stables peuvent y résister.

La première expérience relative au sujet principal de cette conférence date déjà de plusieurs années. Quand un rayon α provenant d'une source radioactive traverse des gaz secs tels que l'oxygène ou l'acide carbonique, on observe un petit nombre de faibles scintillations au-delà du parcours des particules α . On a cru que ces scintillations « naturelles » étaient dues à des atomes d'hydrogène provenant de la source, cette dernière ayant été contaminée par un peu d'hydrogène durant son exposition à l'émanation du radium. Cependant, si l'on remplace l'oxygène ou le gaz carbonique par de l'air sec, le nombre des scintillations devient trois ou quatre fois plus grand. Nous avons trouvé que cet accroissement provient de la présence de l'azote; il est, en effet, encore plus accentué avec de l'azote chimique. Par des moyens appropriés, on a trouvé que les particules qui produisaient les scintillations étaient déviées par un champ magnétique et que leur déviation était justement celle qu'on aurait pu calculer pour des atomes d'hydrogène chargés. Il semblait donc déjà probable que ces atomes d'hydrogène, dont l'existence se manifestait dans l'azote sec, mais non dans l'oxygène ni dans l'oxyde de carbone, devaient avoir leur origine dans la désintégration du noyau d'azote par suite d'une collision avec une particule α rapide.

Avec le montage original, les scintillations étaient peu nombreuses et très peu intenses, ce qui diminuait la précision de leur dénombrement. Le progrès réalisé depuis lors provient surtout des améliorations apportées au microscope servant à la numération, améliorations faites en vue d'augmenter l'intensité des scintillations et la superficie observable sur l'écran de sulfure de zinc. En utilisant des objectifs à grande ouverture et des oculaires spéciaux de faible grossissement, le dénombrement des scintillations est devenu beaucoup plus facile et plus exact.

Nous allons examiner maintenant les méthodes que nous avons adoptées pour étudier, avec plus de détails, les effets observés dans l'azote et pour voir si d'autres éléments agissaient de même. L'appareil nécessaire est très simple et consiste seulement en un tube de laiton de 3 cm de diamètre pourvu de robinets pour permettre la circulation des gaz desséchés. A une extrémité du tube se trouve un trou recouvert d'une plaque d'argent mince. L'écran de sulfure de zinc est fixé à une distance de 1,3 mm de l'ouverture, laissant ainsi un espace vide dans lequel on peut insérer des écrans absorbants de mica. La source radioactive est placée sur l'extrémité d'une tige de manière que sa distance à l'écran puisse varier à volonté. Pour diminuer la luminosité due aux rayons β de la source, l'appareil entier est situé dans un champ magnétique intense. Il est intéressant de donner une idée de l'ordre de grandeur des phénomènes dans différentes conditions. Supposons que la source radioactive consiste en un disque de laiton couvert sur une face d'une couche invisible de radium C correspondant, par son activité de rayonnement γ , à 40 mg de radium, que cette source soit placée à 3,5 cm de l'écran et qu'un courant d'hydrogène sec soit introduit dans l'appareil. Supposons que le pouvoir absorbant des matières intercalées entre la source et l'écran de sulfure de zinc corresponde à 20 cm d'air, c'est-à-dire qu'il suffise, pour arrêter une particule α , qui aurait pu traverser 20 cm dans l'air. Le passage des particules α qui ont, dans ce cas, un parcours de 7 cm à travers l'hydrogène, libère un grand nombre d'atomes d'hydrogène très rapides qui produisent des scintillations sur l'écran. En se servant du microscope du dernier modèle avec un champ de 40 mm², leur nombre est si grand — en fait, plusieurs milliers par minute — qu'il serait impossible de les compter sans réduire l'activité de la source. Si l'on ajoute des écrans de mica de plus en plus absorbants, leur nombre diminue rapidement, et pour une absorption correspondant à 30 cm, par exemple, on n'observe plus aucune scintillation H. On observe un effet tout à fait semblable si on substitue l'oxygène à l'hydrogène, et si on place une couche mince de paraffine ou d'une autre substance contenant de

l'hydrogène devant la source. Le nombre de scintillations H qu'on observe pour une absorption donnée dépend uniquement de la quantité d'hydrogène et est absolument indépendant de son état chimique. Nous pouvions nous attendre à ce résultat, car les forces nécessaires pour mettre en mouvement rapide les noyaux H sont énormes, quand on les compare aux faibles forces dont il s'agit dans une combinaison chimique. Nous arrivons ainsi à cette conclusion que, pour les particules ayant un parcours de 7 cm, aucun atome H provenant de l'hydrogène à l'état libre ou en combinaison chimique ne peut être décelé par scintillation, pour une absorption supérieure à 30 cm d'air.

A l'oxygène qui ne donne pas de scintillations, on substitue maintenant de l'air sec. Immédiatement, nous voyons, pour une absorption de 30 cm, plus de 100 scintillations par minute, tandis qu'avec l'hydrogène nous n'en observons plus une seule. En ajoutant des écrans de mica, nous constatons que les scintillations s'arrêtent pour une absorption de 40 cm. Il est évident que ces particules provenant de l'azote ont un plus grand parcours que les atomes d'hydrogène libres bombardés par les rayons α .

Ainsi on ne peut donc pas attribuer l'effet observé au delà de 30 cm à une impureté d'hydrogène dans l'azote.

L'air est maintenant remplacé par de l'oxygène qui est sans action ; et sur la source sont placées successivement des feuilles minces de cuivre, de fer, d'argent, d'or, par exemple, correspondant à un pouvoir absorbant de 3 cm d'air. Pas un seul atome H ne peut être observé pour une absorption de 30 cm. Une feuille d'aluminium est ensuite substituée aux précédentes ; immédiatement, le nombre de scintillations devient supérieur à 100 par minute. Plusieurs de ces scintillations sont très fortes, elles ne cessent que pour une absorption portée à 90 cm. Il est évident que l'aluminium doit produire un certain nombre de particules de très long parcours.

On voit que si nous examinons le nombre de scintillations au delà du parcours des atomes d'hydrogène ordinaires, il est absolument indépendant de la présence possible d'hydrogène dans les substances étudiées.

Cela présente ce grand avantage, qu'il est inutile que nous nous inquiétions de la pureté des substances employées en ce qui concerne l'hydrogène. De cette manière, le D^r Chadwick et moi, avons examiné un grand nombre d'éléments pour voir s'ils produiraient des particules ayant un parcours supérieur à 32 cm. Quand l'élément lui-même n'était pas utilisable nous nous servions d'un composé de l'élément avec un élément « inactif » tel que l'oxygène. Une mince feuille d'or était saupoudrée avec la substance pulvérisée, de manière à employer une pellicule adhérente telle que l'absorption moyenne de l'ensemble correspondait à 3 ou 4 cm d'air. Le

tout était alors exposé à la source des rayons. Exception faite pour l'hélium, le néon et l'argon, tous les éléments ayant un poids atomique inférieur à 40 ont été étudiés. Nous avons trouvé qu'aucun élément ayant un poids atomique supérieur à celui du phosphore (31) ne produisait le phénomène en question. Il faut d'ailleurs remarquer qu'un très petit nombre d'éléments de poids supérieur à celui-ci ont été étudiés jusqu'à présent.

Une liste des éléments ainsi examinés, depuis le lithium jusqu'au soufre, est reproduite ci-dessous. La deuxième colonne donne le nombre

ÉLÉMENTS	SUBSTANCES	NOMBRE DE PARTICULES PAR MINUTE PAR MG POUR LE MICROSCOPE UTILISÉ	PARCOURS MAXIMUM DES PARTICULES EN CM D'AIR
Lithium	Li ² O	»	»
Glucinium.....	GIO	»	»
Bore.....	B	0,15	ca 45
Carbone	CO ²	»	»
Azote.....	Air	0,7	40
Oxygène.....	O ²	»	»
Fluor.....	CaF ²	0,4	sup a 40
Sodium.....	Na ² O	0,2	ca 42
Magnésium.....	MgO	»	»
Aluminium.....	Al, Al ² O ³	1,1	90
Silicium	Si	»	»
Phosphore	P (rouge)	0,7	ca 65
Soufre.....	S, SO ²	»	»

de scintillations par minute, par milligramme d'activité de la source, soit ici le radium C, pour une absorption de 32 cm d'air. Ces chiffres donnent une comparaison grossière des effets produits par différents éléments dans les conditions de l'expérience, c'est-à-dire avec des épaisseurs et des distributions variables de la couche mince de substance en passant d'un élément à l'autre. La quatrième colonne montre le parcours approximatif des particules. En outre, les éléments suivants, de poids atomique plus grand, ont été étudiés : Chlore à l'état de MgCl²; potassium à l'état de KCl; calcium à l'état de CaO; titane à l'état de Ti²O³; manganèse à l'état de MnO²; fer, cuivre, étain, argent et or en feuilles métalliques.

Les particules n'avaient en aucun cas un parcours supérieur à 32 cm d'air.

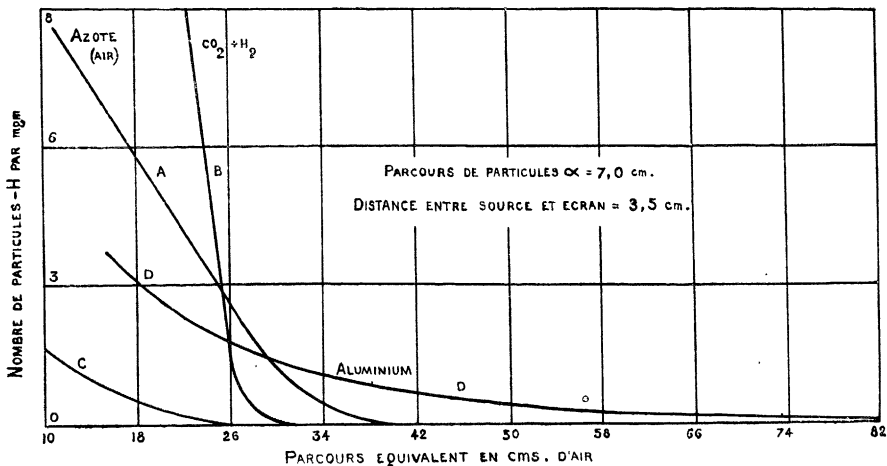
La question de savoir si ces éléments produisent des particules ayant un parcours inférieur à 32 cm n'a pas été étudié.

On voit que les éléments qui donnent des scintillations pour une absorption de 32 cm sont : le bore, l'azote, le fluor, le sodium, l'aluminium

et le phosphore. Les chiffres relatifs au bore et au sodium étaient nettement inférieurs à ceux des autres éléments.

Courbes d'absorption pour l'azote et l'aluminium. — La variation du nombre de scintillations quand l'absorption des rayons le long de leur trajectoire augmente depuis 10 cm est figurée ci-dessous (fig. 1).

FIG. 1.



La source des rayons α dans chaque cas est le radium C. La courbe A met en évidence l'effet de l'azote (air) où le parcours maximum est de 40 cm. La courbe B correspond à un mélange d'hydrogène et de gaz carbonique, environ 1 volume de H_2 pour 1,5 de CO_2 , qui a même pouvoir absorbant que l'air pour les rayons α . Le nombre des scintillations dues à l'hydrogène est très grand dans ce cas pour des absorptions inférieures à 20 cm, mais diminue rapidement, et l'on n'en distingue plus au delà de 20 cm. La courbe C montre l'effet normal de la substitution d'oxygène sec à l'air. On voit que celui-ci est très petit, comparativement au cas de l'azote. La courbe D représente l'effet quand on place sur la source une plaque d'aluminium correspondant à un pouvoir absorbant de 3,5 cm et qu'on substitue l'oxygène à l'air. On voit que les particules libérées par l'aluminium sont capables de traverser une plus grande épaisseur que les particules provenant de l'hydrogène et de l'azote.

Il est d'un grand intérêt de voir comment les courbes d'absorption de ces particules à long parcours varient avec la vitesse des particules α utilisées pour le bombardement. Cette étude a été faite dans le cas de deux éléments typiques, l'azote et l'aluminium. On a trouvé qu'en première approximation, le parcours maximum des particules libérées par un élément était

proportionnel au parcours des particules bombardantes. En tous cas, le nombre des scintillations diminue rapidement quand la vitesse des particules α diminue. Cet effet de la vitesse est particulièrement marqué dans le cas de l'aluminium et on n'observe presque plus rien si le parcours des particules α est réduit à 4,9 cm d'air. En se reportant à ce fait que la diminution de vitesse qui correspond à une diminution du parcours d'une particule α de 7 cm à 4,9 cm, est seulement de 11 pour 100, on voit avec quelle rapidité le nombre des scintillations diminue avec la vitesse. Il semble probable qu'aucune désintégration ne s'effectue dans le cas de l'aluminium lorsque la vitesse des particules α tombe en-dessous d'une certaine valeur critique. Cela n'est pas d'ailleurs facile à démontrer d'une façon absolue, mais s'il en est bien ainsi, il faudrait en conclure que les particules α doivent avoir une certaine énergie critique minimum pour pouvoir arracher un atome d'hydrogène du noyau.

Un résultat très remarquable a été observé dans le cas de l'aluminium. On pouvait croire que les particules libérées seraient projetées pour la plupart dans la direction des particules α bombardantes. En fait, on trouve qu'il y en a autant de projetées en arrière qu'en avant. Aucun phénomène de ce genre n'a été observé dans le cas de l'azote. Les autres éléments n'ont pas encore été étudiés à ce point de vue, mais nous pourrions nous attendre à ce que le phosphore, qui donne des particules à long parcours, montre un phénomène semblable. Nous donnerons un peu plus loin une explication possible de ce fait singulier.

Nature des particules expulsées. — Il peut être facilement démontré que les particules à long parcours arrachées aux éléments sont déviées par un champ magnétique intense. Par l'adoption de méthodes spéciales, on peut comparer la grandeur de la déviation de ces particules à celle des atomes d'hydrogène rapides produits quand des particules α traversent de l'hydrogène ordinaire. On a trouvé que les particules provenant de l'azote étaient déviées de la même manière que les particules H venant de l'hydrogène, et se conduisaient à tout point de vue comme des atomes H rapides ayant une charge positive. Il semblait probable a priori que les particules correspondantes provenant du fluor, du phosphore et de l'aluminium seraient aussi des atomes d'hydrogène détachés du noyau avec des vitesses qui dépendraient de la nature de l'élément et de la vitesse de la particule incidente. C'est ce qui a été confirmé dans les expériences récentes du D^r Chadwick et de moi-même, par une méthode semblable à celle qui a été utilisée dans le cas de l'azote. La déviation des particules dans un champ

magnétique était déterminée pour une absorption supérieure à 32 cm d'air, afin que les expériences ne fussent pas compliquées par la présence possible d'impuretés d'hydrogène dans les substances qu'on voulait examiner. Ces expériences étaient difficiles en raison du petit nombre de particules présentes dans les conditions des expériences. et il fut nécessaire, pour les rendre possibles, de construire un microscope spécial possédant un très grand champ. Les résultats des expériences concordent avec cette idée que les particules provenant du fluor, du phosphore et de l'aluminium étaient des atomes d'hydrogène rapides, et nous pouvons conclure que dans chaque cas un atome d'hydrogène est arraché du noyau de ces éléments. La vitesse maximum avec laquelle l'atome d'hydrogène est projeté à partir des divers éléments peut être évaluée en supposant que la loi reliant la vitesse et le parcours des particules α est valable pour l'atome d'hydrogène. D'après cette loi, la vitesse est proportionnelle à la racine cubique du parcours.

Il a été calculé et confirmé par l'expérience que la vitesse maximum communiquée à un atome d'hydrogène libéré par collision directe avec une particule α de vitesse v est $1,6 v$, tandis que son parcours dans l'air est d'environ 28 cm. Par conséquent, la vitesse maximum de l'atome d'hydrogène provenant de l'azote, de parcours 40 cm, est de $1,8 v$ et pour l'aluminium, de parcours de 90 cm, de $2,37 v$. La particule α communique à un atome d'hydrogène libre, dans la direction de la collision, une fraction de son énergie égale à cette dernière multipliée par 0,64, et il est possible de calculer que tous les atomes d'hydrogène ayant un parcours supérieur à environ 56 cm sont projetés avec une énergie supérieure à celle de la particule α incidente. Dans le cas de l'aluminium, l'énergie maxima de l'atome d'hydrogène est égale à celle de la particule α incidente multipliée par 1,4. Cela est extrêmement intéressant, et prouve que dans certains cas il y a un gain d'énergie qui résulte de la désintégration du noyau d'aluminium. Nous sommes obligés de conclure, en tous cas, que, dans les collisions après lesquelles l'atome d'hydrogène a un parcours inférieur à 56 cm d'air, une partie de son énergie provient du noyau désintégré. Ceci est analogue à un certain point de vue, au gain d'énergie bien connu qui se manifeste dans la sortie de la particule α d'un noyau radioactif.

Nous devons nous rappeler que la désintégration effectuée par les particules α ne se produit que sur une très petite échelle. Quand une particule provenant du radium C traverse l'aluminium, il est probable qu'elle traverse les édifices atomiques d'à peu près 100000 atomes, mais deux particules seulement sur un million approchent suffisamment près du noyau intérieur pour effectuer la libération d'un atome d'hydrogène. Nous

savons que l'accumulation des particules α d'un gramme de radium produit 163 mm^3 d'hélium par an. Si nous supposons que toutes les particules α d'un gramme de radium soient projetées sur l'aluminium, la quantité d'hydrogène libéré par la désintégration des noyaux d'aluminium ne pourrait pas être supérieure à $1/1000$ de mm^3 par an.

Ainsi la quantité d'hydrogène libérée dans les conditions expérimentales envisagées échappe complètement aux moyens d'investigation chimiques ordinaires. L'étude de la désintégration n'a été possible qu'en se servant d'une méthode aussi sensible que celle où chaque atome H libéré produit une scintillation visible sur l'écran de sulfure de zinc.

Mécanisme de la désintégration. — L'étude de la radioactivité nous a conduit à penser que la particule α ou noyau d'hélium de masse égale à 4 est une des unités de la structure atomique. Les expériences citées dans cette conférence nous fournissent la première preuve de ce fait que le noyau d'hydrogène est aussi l'une des unités dans la structure de certains éléments légers. Il est intéressant de remarquer que les atomes d'hydrogène ne sont libérés qu'à partir des éléments dont les masses atomiques sont données par les formules $4n + 2$ ou $4n + 3$, n étant un nombre entier. Les éléments comme le carbone et l'oxygène, dont la masse atomique est donnée par $4n$, ne donnent pas lieu au phénomène. Ceci est mis en évidence dans le tableau suivant :

ÉLÉMENTS	MASSES	$4n + a$
Bore.....	11	$2 \times 4 + 3$
Azote.....	14	$3 \times 4 + 2$
Fluor.....	19	$4 \times 4 + 3$
Sodium.....	23	$5 \times 4 + 3$
Aluminium.....	27	$6 \times 4 + 3$
Phosphore.....	31	$7 \times 4 + 3$

Ce résultat peut être prévu si les noyaux de ces atomes consistent en noyaux d'hélium de masse 4 et en noyaux d'hydrogène de masse 1. Pour expliquer la libération des atomes d'hydrogène à partir de ces éléments, il est naturel de supposer que les atomes d'hydrogène sont des satellites du noyau principal. Si le satellite n'est pas trop près du noyau principal, la particule α , par collision directe, est capable de communiquer au satellite une quantité d'énergie suffisante pour lui permettre de s'échapper du système. On doit s'attendre à ce que les satellites hydrogène soient plus près du noyau dans le cas de l'aluminium que dans le cas de l'azote et, par conséquent, à ce qu'il faille plus d'énergie dans le cas de l'aluminium pour effectuer leur libération. Il est intéressant de remarquer que la probabilité

de libérer un atome H rapide. à partir de l'azote, n'est pas plus du $1/20$ de la probabilité de donner le mouvement correspondant à un atome d'hydrogène libre. L'arrachement du satellite n'est donc possible qu'entre certaines limites de vitesse et de position du satellite par rapport au noyau central.

Nous avons déjà mentionné le fait que les atomes d'hydrogène de l'aluminium peuvent être lancés dans toutes les directions. Néanmoins la vitesse des particules H dans la direction arrière est nettement inférieure à celle qui est relative à la direction avant. Un tel résultat suggère au premier abord que la particule α joue le rôle d'un détonateur par rapport au noyau d'aluminium et que l'énergie des fragments libérés provient pour la plus grande part du noyau. Je crois néanmoins que l'explication qui suit est plus probable et qu'elle est en meilleur accord avec les expériences. Si nous supposons que le satellite hydrogène décrit une orbite autour du noyau central, la direction dans laquelle il sera projeté dépendra de la position relative de la particule α et du noyau au moment de la collision

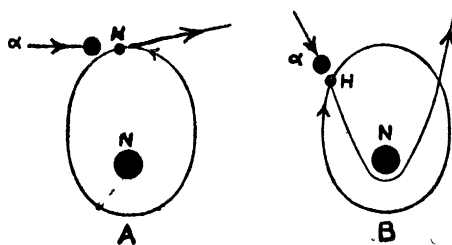


Fig. 2.

intime avec le satellite. Dans les collisions représentées en A (fig. 2), par exemple, le noyau d'hydrogène s'échappera dans la direction de la particule α incidente; dans la collision du type B, l'atome H décrira une orbite autour du noyau et s'échappera dans la direction opposée. La vitesse communiquée au noyau résiduel dans la direction incidente est beaucoup plus grande dans ce dernier cas que dans le premier. Un tel point de vue suppose que les forces entre satellites chargés positivement et noyau sont, à courte distance du noyau, des forces d'attraction au lieu d'être des forces de répulsion. Ce changement de signe des forces semble très probable à courte distance du noyau, car s'il en était autrement, il serait difficile de comprendre comment l'assemblage d'un noyau complexe chargé positivement pourrait être stable.

Une autre conséquence de quelque intérêt résulte directement de la possibilité de libérer des atomes d'hydrogène à partir d'éléments légers. On suppose généralement qu'il est très difficile d'obtenir une preuve directe de

ce que le noyau d'hélium est formé de quatre noyaux d'hydrogène et de deux électrons. Dans cet assemblage il y a une perte de masse, et ceci est attribué à la combinaison très intime des éléments de la structure. Suivant la conception moderne des relations entre la masse et l'énergie, l'énergie libérée pendant la formation d'un noyau d'hélium est plus de trois fois supérieure à l'énergie de la particule α la plus rapide provenant du radium. Nous ne devons pas nous attendre par conséquent à pouvoir briser le noyau d'hélium avec une particule α ordinaire, et cela concorde avec les expériences faites jusqu'à présent. En effet, il semble que le noyau d'hélium soit le plus stable de tous les noyaux.

Etant donné que dans le cas de l'azote, par exemple, il nous est possible de libérer un atome d'hydrogène par une particule α lente, il semble évident que le satellite hydrogène n'est pas fixé aussi fortement au noyau de l'azote qu'au noyau de l'hélium. Le changement de masse dû à l'émission d'énergie lors de la réunion d'un satellite hydrogène devrait être par conséquent très inférieur à ce qu'il est dans le cas de l'hélium. La masse du satellite ne devrait pas être très différente de celle du noyau hydrogène de masse 1,0077 par rapport à $O = 16$.

En supposant que le noyau d'azote consiste en trois noyaux d'hélium de masse totale 12 et deux noyaux d'hydrogène, la masse de l'atome de l'azote ne devrait pas être exactement 14,00 mais plutôt voisine de 14,01. Dans le cas des éléments légers, il semble probable que la masse effective des protons qui constituent les noyaux variera pour différents atomes de 1,007 à 1,000 selon l'intimité de la combinaison. Par conséquent, nous devrions nous attendre à ce que la règle des nombres entiers, trouvée par Aston et qui semble s'appliquer pour les masses atomiques avec une précision de 1/1000 devienne inexacte si les mesures peuvent être faites avec plus de précision. La question qui se pose maintenant est de savoir si des particules autres que celles de l'hydrogène peuvent être libérées par le bombardement des rayons α . J'ai déjà trouvé, il y a quelque temps, en utilisant le radium C comme source radioactive, qu'on pouvait observer un petit nombre de scintillations brillantes, correspondant à un parcours maximum dans l'air de 9 cm. Il était naturel de supposer que cela était dû à une nouvelle espèce de rayons α provenant de la source radioactive. Néanmoins, l'effet que produisent les écrans d'aluminium, en diminuant les parcours de ces particules, m'a amené à croire que celles-ci étaient produites au sein même des gaz employés, c'est-à-dire, de l'azote et de l'oxygène. En comparant la déviation de ces particules dans un champ magnétique avec celle des particules H provenant de l'hydrogène, j'ai été amené à conclure que leur

masse atomique devait être égale à trois environ et qu'elles portaient deux charges positives. Mais des expériences plus récentes m'ont montré l'impossibilité de se fier à la méthode qui consiste à immobiliser la source de la radiation, cela en raison de l'irrégularité notable de l'épaisseur des feuilles minces métalliques. M'étant servi d'une méthode plus directe et plus simple, j'ai acquis la conviction que, dans le cas de l'oxygène, tout au moins, ces particules ont leur origine dans la source radioactive et non pas dans le sein même du gaz. Dans ces nouvelles conditions la méthode comparative d'estimation de la masse des particules n'est plus très sûre. Quoiqu'un grand nombre d'expériences soient nécessaires pour fixer définitivement la nature des radiations, tout porte à croire que celles-ci sont des particules de masse 4 qui sont projetées de la source et représentent une nouvelle forme de transformation du radium C.

Par les méthodes indiquées, tout au plus pouvons-nous espérer déceler les particules qui ont parcouru une distance supérieure à celle des particules α primaires. Si une désintégration d'éléments se produit, dans laquelle une particule α , massive, est libérée, il est très probable que cette dernière aura un parcours inférieur à celui de la particule α . Pour étudier un tel cas, nous pouvons utiliser la très belle méthode de Mr. C.-T.-R. Wilson montrant le parcours des particules ionisantes. Quelques expériences de ce genre, suivant une méthode un peu différente, ont été faites par M. Shimizu au Laboratoire Cavendish. Un certain nombre de photographies montrent des fourches très nettement marquées vers la fin du parcours de la particule α . Cependant, jusqu'au jour où ces photographies auront été mesurées avec précision, il est difficile d'être certain que ces fourches peuvent être expliquées par des collisions de la particule α avec le noyau d'azote ou d'oxygène. Il semble clair que le noyau peut parcourir des distances considérables au travers du gaz avant d'être absorbé. Si on prenait un grand nombre de photographies, il devrait être possible de décider si oui ou non se produisent des collisions dans lesquelles les atomes se brisent, et de déterminer la probabilité de cette éventualité. Cette méthode directe d'aborder le problème, bien que laborieuse, donnerait certainement des renseignements très précieux.

Il ne semble pas improbable que les particules α puissent parfois arracher un atome d'hélium d'un noyau complexe, tel que celui du charbon, de l'oxygène qui, nous le supposons, sont formés respectivement de trois ou quatre noyaux d'hélium. Ce fait que la masse de ces atomes est presque rigoureusement un multiple de celle de l'atome d'hélium suggère que les noyaux d'hélium sont liés les uns aux autres par des forces moindres que celles qui

unissent les constituants hydrogène du noyau d'hélium lui-même. Si la structure du noyau complexe d'oxygène, par exemple, est telle que la particule α puisse communiquer une fraction considérable de sa quantité de mouvement et d'énergie à un élément de la structure, nous devons nous attendre à ce qu'une telle désintégration se produise. Il est possible, aussi, que des particules chargées de masses à peu près égales à 2 ou 3 puissent exister comme constituants secondaires des noyaux complexes de certains éléments, mais, jusqu'à présent, leur isolement n'a pu être réalisé.

J'ai restreint mes remarques, jusqu'ici, aux effets de désintégration par les rayons α rapides. Il est important de rechercher si des rayons β rapides ou des rayons γ énergiques du radium peuvent produire un effet quelconque. Nous avons trouvé que ni les rayons β ni les rayons γ ne semblent pouvoir fournir une énergie suffisante à un atome hydrogène, dans l'hydrogène ordinaire, pour qu'un effet puisse être perçu par la méthode des scintillations. A plus forte raison devons-nous nous attendre encore moins, à ce que ces rayons puissent libérer un atome d'hydrogène rapide d'un noyau complexe. Il est possible, néanmoins, que ces agents, en particulier les rayons γ de très courte longueur d'onde, puissent libérer un électron et, de cette manière, amener une modification du nombre atomique. Toutefois, si l'atome restant est instable et se brise avec émission d'une particule rapide du genre des rayons α , il est difficile d'être certain d'une telle transformation. On doit remarquer que Slater a démontré que les rayons α peuvent exciter des rayons très pénétrants par leur passage à travers la matière. Il y a de grandes probabilités pour que les radiations de haute fréquence ne puissent venir que des noyaux des atomes. Si tel est le cas, il est peut-être possible que les rayons α produisent, dans certains cas, la libération d'une particule β du noyau et les transformations résultantes, mais cela ne doit se produire que sur une très petite échelle.

Plusieurs tentatives ont été faites antérieurement pour voir si les atomes ordinaires peuvent être désintégrés par des agents particuliers. Sir William Ramsay, toujours orienté d'instinct dans la meilleure voie d'investigation, a fait, autrefois, un certain nombre d'expériences relatives à l'effet des rayons α de l'uranium sur la matière; il avait été amené à penser qu'il avait obtenu la production de néon et la libération de lithium à partir du cuivre. Ces conclusions n'ont pas été confirmées par d'autres expérimentateurs et, d'après les expériences décrites dans cette conférence, il semble très douteux que la transformation, en admettant qu'elle ait eu lieu, ait été assez importante pour que les méthodes chimiques usuelles, qui pouvaient être employées, fussent susceptibles de la caractériser.

Maintes fois la formation d'hélium dans un tube de décharge a été signalée, et il a été suggéré que l'hélium pouvait être un produit de la transformation des électrodes lors des décharges électriques intenses. Les expériences les plus remarquables dans cet ordre d'idées ont été faites par M. Collie, mais des recherches plus précises faites par Strutt n'ont pas confirmé ses conclusions. Il est extrêmement difficile de prouver que la formation d'hélium n'est pas due à son occlusion dans les électrodes et à sa libération sous l'action de la chaleur intense de la décharge. Des observations analogues ont été faites sur la libération continue d'hydrogène par les électrodes. Winchester, qui a minutieusement examiné ce phénomène avec des électrodes d'aluminium mince, a trouvé que la libération d'hydrogène durait jusqu'à destruction complète des électrodes. Il est très difficile de croire que l'hydrogène est un produit de transformation de l'aluminium, quand on songe à la grande quantité d'énergie que doit posséder une particule α pour l'effectuer. Comme dans le cas de l'hélium, il semble plus probable que l'hydrogène était initialement occlus dans les électrodes.

Bien qu'il soit dangereux d'être dogmatique sur ces points, tout porte à croire que les atomes sont de structure si stable et que les noyaux sont assemblés par des forces si puissantes que seules les sources d'énergie aussi concentrées que les particules α sont susceptibles de réussir dans l'attaque de leur structure si bien protégée. Même quand une désintégration se produit, cela n'a lieu que sur une échelle minime, et seules quelques particules α sur un million sont efficaces. Mais si nous avions des atomes chargés contenant dix fois l'énergie de la particule α du radium, nous pourrions probablement pénétrer la structure nucléaire de tous les atomes et même parfois les désintégrer.
