

SUR LA LOI FONDAMENTALE DES TRANSFORMATIONS RADIOACTIVES*

Dans l'étude de la constitution des atomes qui nous occupe en ce moment, les phénomènes de la radioactivité apportent des moyens d'investigation importants. Pour se former une opinion sur la distribution des charges dans l'atome, MM. J.-J. Thomson et Rutherford utilisent les perturbations apportées dans la propagation des rayons β ou α par la matière que traversent ces rayons. On est ainsi conduit à des conclusions importantes relativement au nombre des électrons dans l'atome (tout au moins celui des électrons *périphériques*) et à la conception d'un noyau central positif de petites dimensions entouré d'une distribution d'électrons. En ce qui concerne les relations entre la structure des atomes de diverses espèces, les phénomènes bien établis de transformations radioactives nous conduisent à admettre que l'atome d'hélium constitue l'une des pierres angulaires de l'édifice atomique pour environ 20 atomes radioactifs et, probablement, pour les atomes en général. Il est, par exemple, très remarquable que dans les transformations successives d'un atome d'une substance telle que l'uranium, la séparation d'un atome d'hélium se produit à plusieurs reprises, indiquant que les atomes d'hélium constituent des groupements qui existent dans l'atome primitif avec une certaine indépendance. On peut espérer que, grâce à leur caractère strictement atomique, les phénomènes radioactifs se montreront aptes à nous renseigner de plus en plus sur la structure des atomes.

Actuellement, je me propose d'attirer votre attention sur un côté de la question qui n'a pas encore été envisagé dans cette réunion et qui cependant est en liaison étroite avec la question de la constitution des atomes. Je veux parler des réflexions qui peuvent être suggérées par *la loi fondamentale des transformations radioactives*.

Cette loi exponentielle est bien connue; elle a été découverte par l'expérience et sert de base à la théorie des transformations radioactives. Elle dit

* [Mme Curie, La structure de la matière. Rapports et discussions du Conseil de Physique, Bruxelles 1913. Institut Internationale de Physique Solvay, Paris 1921—ed.]

que si N_0 atomes d'une substance radioactive simple existent au temps 0, le nombre N de ces atomes présents au temps t est donné par la formule

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

où λ est une constante caractéristique de la substance considérée, nommée sa *constante radioactive*. On peut aussi écrire

$$dN = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} dt = -\lambda N dt.$$

Le nombre des atomes transformés dans l'intervalle de temps dt rapporté à l'unité de temps est une fraction déterminée du nombre d'atomes présent. Ainsi qu'il a souvent été remarqué, cette loi, qui est également observée dans quelques transformations chimiques (transformations monomoléculaires irréversibles), exprime seulement ce fait que la probabilité de la transformation est, à un moment donné, la même pour tous les atomes considérés. C'est donc une loi statistique qui s'applique d'autant plus exactement que le nombre des atomes mis en jeu est plus grand, et à partir de laquelle on peut prévoir des écarts dont la distribution peut être soumise au calcul. La loi moyenne a été vérifiée surtout avec une grande approximation dans le cas de l'émanation du radium; le rapport de la quantité initiale à la quantité finale dans certaines expériences était de l'ordre 10^6 et davantage. La loi de distribution des écarts a été vérifiée sur l'émission des particules α du radium et du polonium.

La loi exponentielle dont il s'agit est d'une importance fondamentale. On peut en chercher une interprétation. Celle-ci résulterait immédiatement si l'on admettait que la transformation d'un atome est déterminée par une sorte de mécanisme de déclenchement qui dépend d'une cause extérieure à l'atome. On pourrait concevoir en ce cas que, parmi tous les atomes, ceux qui se transforment à un moment donné sont ceux qui se trouvent par rapport à l'action de cette cause extérieure dans une position particulièrement favorable. Si le nombre des atomes est grand, l'agitation thermique pourra fournir les conditions suffisantes pour que la loi du hasard s'applique à l'action efficace de la cause extérieure sur l'ensemble des atomes.

Cette interprétation est simple. Mais comme, jusqu'à présent, il a été impossible d'observer une influence des causes extérieures sur les transformations radioactives, l'hypothèse qui fait intervenir de telles causes manque de tout appui expérimental.

Si l'on renonce à faire intervenir des causes extérieures, il devient difficile de concevoir un mécanisme conduisant à la loi exponentielle. Si la cause de transformation d'un atome déterminé n'est pas hors de cet atome, elle doit lui être intérieure. Et puisque, parmi un grand nombre d'atomes présents, certains se détruiront aussitôt, tandis que d'autres pourront exister pendant un temps très long, il n'est plus possible de considérer comme entièrement sem-

blables tous ces atomes d'une même substance simple, mais on doit admettre que la différence de leurs destinées est déterminée par les différences individuelles. Une nouvelle difficulté se présente alors; les différences que nous ferons intervenir doivent être de telle nature qu'elles ne puissent déterminer ce que l'on peut nommer le *vieillessement* de la substance; elles doivent être telles que la probabilité pour qu'un atome dure encore un temps donné soit indépendante du temps pendant lequel il a déjà existé. Toute théorie de la structure des atomes devra remplir cette condition si l'on se place au point de vue précédent.

Je suis ainsi amenée à parler d'une hypothèse faite par M. Debieerne pour satisfaire à cette condition. M. Debieerne fait remarquer que, dans le cas d'une réaction monomoléculaire chimique irréversible, c'est l'agitation thermique qui assure la constance de la probabilité de destruction d'une molécule individuelle. Elle constitue l'élément de désordre qui renouvelle constamment, par l'intermédiaire des chocs, l'état des molécules; elle est donc la cause réelle de la forme exponentielle de la loi de destruction. On comprend ainsi pourquoi les variations de température influencent fortement la vitesse de transformation.

Il n'en est pas de même pour les transformations radioactives qui ne semblent pas influencées par la température. Nous avons récemment montré, M. Kamerlingh Onnes et moi, qu'à la température de l'hydrogène liquide, le rayonnement du radium n'est pas modifié à la précision de 1 pour 5000. C'est donc à cette même précision que la vitesse de destruction du radium doit être considérée comme constante dans ces limites de température.

L'absence de toute influence de la température sur les transformations radioactives oblige à chercher à l'intérieur de l'atome l'élément de désordre nécessaire pour expliquer l'application d'une loi de hasard.

M. Debieerne suppose que chaque atome passe dans un petit intervalle de temps par un grand nombre d'états différents, mais que l'état moyen reste constant et indépendant des circonstances extérieures. Il en résulte que les propriétés sont exactement les mêmes en moyenne pour tous les atomes d'une même espèce. M. Debieerne pense que pour réaliser cette succession d'états variables avec probabilité constante de destruction, il est nécessaire d'admettre une grande complexité de la structure intérieure des atomes, ceux-ci étant composés d'un grand nombre d'éléments doués de mouvements désordonnés. Cette agitation intra-atomique déterminerait de temps en temps un état instable suivi de la transformation de l'atome. Elle doit être considérée comme indépendante du mouvement général d'agitation moléculaire, c'est-à-dire de la température.

L'agitation intra-atomique est localisée, selon M. Debieerne, dans la partie centrale de l'atome, le noyau central qui constitue la partie la plus importante de l'atome, et M. Debieerne pense qu'on pourrait peut-être définir une

sorte de température interne de l'atome beaucoup plus élevée que la température extérieure, conformément à ce fait que les vitesses des constituants du noyau central doivent être très élevées, à en juger par la vitesse des projectiles expulsés par l'atome lors des transformations radioactives. La région externe de l'atome est occupée par des électrons périphériques dont les vitesses sont beaucoup moins élevées.

Le désordre intra-atomique doit être d'une nature particulière. On a des raisons pour croire que les atomes d'une même substance ne peuvent être très différents; c'est ainsi que les particules α expulsées par les atomes radioactifs d'une même espèce ont des vitesses initiales égales à la précision près des expériences. Il faut donc supposer que les écarts à partir d'un état moyen sont petits, mais absolument irréguliers.

On pourrait ainsi supposer que l'état intra-atomique n'est pas absolument indépendant des causes extérieures et de l'agitation moléculaire et qu'un échange d'énergie se produise dans une très faible mesure, bien que cela n'ait pu encore être constaté par l'expérience. La possibilité d'influencer les transformations radioactives ne serait pas alors complètement exclue.

M. Debiegne fait aussi remarquer qu'une relation remarquable a été établie par M. Geiger entre les constantes radioactives des éléments radioactifs et les parcours des particules α expulsées lors des transformations correspondantes. Les logarithmes des constantes radioactives sont proportionnels aux logarithmes des parcours. Il revient au même de dire que la probabilité de la destruction d'un atome d'une certaine espèce est reliée par une relation simple à la vitesse d'expulsion des particules α . Cette relation est la première que l'on ait trouvée pour la cinétique de l'atome.

Je n'entrerai pas dans d'autres considérations générales développées par M. Debiegne relativement à la structure des atomes, car elles sont très analogues à celles qui ont déjà trouvé place dans la discussion.

Je crois seulement intéressant d'insister sur l'idée d'un désordre intra-atomique. On peut se demander si la réalisation de celui-ci implique nécessairement une structure compliquée déterminée par un grand nombre de paramètres, et si le même résultat ne pourrait être obtenu avec une structure atomique assez simple, le grand nombre des atomes introduisant seul la loi du hasard. L'image suivante permet de se rendre compte de ce que j'entends par là. Imaginons une molécule qui est mobile à l'intérieur d'une boîte munie d'une petite ouverture. Quand la molécule, au cours de son mouvement, rencontrera l'ouverture, elle sortira de la boîte et le système sera profondément modifié. Si nous disposons d'un grand nombre de boîtes contenant chacune une molécule, et si les vitesses et les positions initiales des molécules sont différentes, il pourra peut-être arriver que le phénomène de sortie des molécules paraîtra régi par la loi du hasard, bien qu'il s'agisse de systèmes de constitution relativement simple.