

lignes égal au produit du nombre de lignes du spectre incident par le nombre des niveaux. En construisant ces diagrammes de lignes serrées, et en les rapprochant des clichés expérimentaux, il semble bien que les prévisions se justifient dans les détails et que les raies larges ou diffuses représentent des faisceaux de lignes non séparées.

Les éléments suivants : uranium, thorium, bismuth, plomb, mercure, or, baryum, ont été étudiés au point de vue de leurs niveaux L, M, etc., sous l'excitation d'un tube Coolidge. On suit très bien sur les clichés le chevauchement des lignes α (tungstène)-M (radiateur) et α (tungstène)-L (radiateur) qui sont en ordre inverse suivant que le nombre atomique du radiateur est supérieur ou inférieur à celui du métal de l'anticathode, source des rayons X, et se croisent quand le radiateur est identique à l'anticathode; c'est une justification de l'origine que j'ai attribuée à celle des lignes corpusculaires des radiateurs, qui proviennent de leurs propres spectres de fluorescence.

Des mesures sont en cours pour utiliser les pointés précis que permet, par exemple, une raie simple comme la raie β de la série K du tungstène conjuguée avec un niveau unique. Ces résultats feront l'objet d'une publication ultérieure.

La correspondance, jusque dans les détails, du spectre corpusculaire aux spectres de rayons X, frappante lorsqu'on examine les clichés, doit attirer fortement l'attention sur la sorte d'unité qui existe dans la radiation qui se présente tantôt sous un aspect périodique (ondulations), tantôt sous un aspect cinétique (émission).

D'autre part, ainsi qu'il a été dit plus haut, le spectre de niveaux, que l'on obtient à l'aide des rayons β secondaires est un analyseur de radiations aussi puissant que les cristaux; l'accord numérique qu'il présente avec les résultats tirés de ces derniers est une justification des hypothèses de Bragg sur les structures réticulaires.

Ces faits expérimentaux appellent également une autre remarque. Si l'on suit le processus qui débute par l'impact d'un électron cathodique de grande vitesse sur une anticathode en donnant lieu à l'émission de rayons X, puis de rayons β secondaires, puis encore de rayons X produits par ces derniers et ainsi de suite, on constate que le quantum de ces radiations s'abaisse continuellement et se dégrade en quelque sorte en se partageant en quanta moins élevés. Il y a là un phénomène dont l'analogie avec la notion d'entropie doit retenir l'attention et qui permet de calculer de véritables cycles, avec une formule de rendement identique à celle de Carnot

en remplaçant la température par la fréquence ; une Note de M. Louis de Broglie, contenue dans les pages suivantes, étudie en détail cette dernière question.

ÉLECTRO-OPTIQUE. — *Sur la dégradation du quantum dans les transformations successives des radiations de haute fréquence.* Note de M. **LOUIS DE BROGLIE**, présentée par M. Deslandres.

Les progrès de nos connaissances sur l'effet photo-électrique (voir ci-dessus la Note de M. M. de Broglie) semble prouver avec une évidence chaque jour croissante que l'absorption aussi bien que l'émission d'une radiation de fréquence ν se fait d'une façon discontinue par quanta égaux à $h\nu$. Les électrons expulsés de l'atome par l'absorption d'un quantum en sortent avec une énergie cinétique égale au quantum absorbé, moins le travail qu'ils ont dû fournir pour sortir de l'atome. L'atome, qui se trouve ainsi privé d'un électron intérieur, possède une énergie supérieure à l'énergie normale des atomes de son espèce. D'après nos idées actuelles, il tendrait alors à revenir à l'état normal en émettant, sous forme d'une série de lignes, l'énergie supplémentaire qu'il a, en quelque sorte, emmagasinée. Chaque radiation émise l'étant avec son quantum, on peut dire que le quantum absorbé par la matière au rayonnement est ensuite restitué à ce dernier sous forme de plusieurs quanta de moindre fréquence.

Ces phénomènes présentent, avec ceux que la Thermodynamique étudie, de curieuses analogies. De même que la chaleur tend à passer des corps chauds sur les corps froids, de même ici l'énergie radiante tend à passer des fréquences élevées aux fréquences moins élevées ; c'est là le principe de la loi de Stokes et l'on peut, dans une certaine mesure, assimiler les fréquences aux températures.

En imaginant deux réservoirs remplis chacun d'un rayonnement monochromatique, on peut aisément constituer un cycle fermé par le transport alternatif d'un atome qui absorbe de l'énergie à l'un des rayonnements et en restitue à l'autre. On trouve facilement pour expression du rendement maximum $\frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu_2}$, expression tout à fait analogue à celle du cycle de Carnot, en remplaçant la température par la fréquence. Les rayonnements jouent ici les rôles de sources chaude et froide ; l'atome joue le rôle de l'eau dans la machine à vapeur. D'autre part, la quantité $\frac{\text{énergie fournie au rayonnement}}{\text{fréquence}}$

est analogue à l'entropie; elle a les dimensions d'une action, varie par multiples de h et croît toujours dans toutes les transformations couramment observées (¹).

L'irréversibilité ordinaire de tous les phénomènes de rayons X n'est sans doute, comme pour les phénomènes thermodynamiques, qu'une apparence. L'étude des fluctuations a montré aux physiciens qu'un système quelconque s'écarte sans cesse de l'état d'équilibre thermodynamique pour y revenir ensuite; ainsi, la densité d'un gaz doit être la même en tout point dans l'état d'équilibre et cependant, en réalité, elle varie sans cesse autour de sa valeur moyenne. Mais, quand on observe, comme cela a lieu souvent, des systèmes très éloignés de l'état d'équilibre, quand, par exemple, on met en contact deux corps de températures différentes, le phénomène observé tend toujours à établir l'équilibre thermique.

Les faisceaux de rayons X obtenus dans les laboratoires ont des densités d'énergie correspondant au rayonnement noir de températures extrêmement élevées; aussi les phénomènes observés, quand ces rayons traversent de la matière, tendent-ils toujours au rétablissement de l'équilibre par l'abaissement des fréquences et sont-ils, en apparence, irréversibles.

Si l'irréversibilité n'est qu'apparente, à chaque mécanisme abaisseur de fréquence et dégradant l'énergie radiante doit correspondre un mécanisme inverse élevant les fréquences, mécanisme dont le fonctionnement, dans les conditions usuelles de l'expérience, est trop faible en général pour être mis en évidence.

L'hypothèse de l'existence de tels processus éleveurs de fréquence n'est pas toute gratuite; outre qu'elle est *exigée* par l'idée même d'équilibre thermodynamique, elle semble permettre une interprétation intéressante du fond continu des tubes à rayons X. Puisque l'absorption d'un quantum de fréquence ν provoque l'expulsion d'un électron intraatomique avec une énergie cinétique $h(\nu - \nu_0)$ où $h\nu_0$ est le travail de sortie de l'électron, la réversibilité exige qu'un électron frappant un atome préalablement privé d'un électron intérieur puisse pénétrer dans cet atome, occuper la place libre et provoquer l'émission d'une radiation dont le quantum soit égal à la perte d'énergie du système électron-atome. Or, dans un tube à rayons X, fonctionnant sous une tension V , les électrons de charge e arrivent sur l'anticathode avec l'énergie eV , mais par suite de leur ralentissement par la matière, ils ne viennent frapper les atomes du métal qu'avec une énergie

(¹) M. D. Berthelot a déjà proposé de l'appeler l'*entropie radiante*.

inférieure à eV . On voit alors facilement que les idées précédentes nous conduisent au résultat suivant : « A chaque fréquence critique ν_c inférieure à $\frac{eV}{h}$ de la matière formant l'anticathode doit correspondre une bande

d'émission s'étendant depuis la fréquence ν_c jusqu'à la fréquence $\frac{eV}{h}$. »

Pour les fréquences correspondant aux « niveaux optiques » de l'atome, ν_c est pratiquement négligeable pour le physicien adonné à l'étude du domaine X. A ces fréquences correspond donc, en pratique, une bande d'émission s'étendant de la fréquence 0 à la fréquence $\frac{eV}{h}$. C'est le fond continu ordinairement observé. Aux fréquences critiques élevées (K, L, M, etc.), correspondraient des bandes d'émission dont l'existence n'a pas été signalée. Mais il faut observer que le « fond continu » ne présente pas de discontinuités pour les fréquences critiques de l'anticathode; on devrait cependant s'y attendre en raison de l'absorption par l'anticathode elle-même du rayonnement qu'elle émet et cette absence ne peut guère, semble-t-il, s'interpréter que par l'existence d'une émission compensatrice débutant pour ces fréquences critiques.

Ces remarques montrent, à notre avis, dans quelle direction on doit rechercher l'explication du fond continu X et, probablement aussi, celle du spectre continu des corps incandescents et du « corps noir ».

PHYSIQUE. — *Sur un nouveau rayonnement de courte longueur d'onde.*

Note de M. G. REBOUL, présentée par M. E. Bouty.

J'ai indiqué précédemment les conditions dans lesquelles un corps peu conducteur, traversé par un courant, impressionnait une plaque photographique (¹). La discussion expérimentale de cet effet m'a amené à supposer que les corps faiblement conducteurs de l'électricité étaient, dans des conditions convenables, le siège de l'émission d'un rayonnement très absorbable analogue aux rayons X ou à l'ultraviolet. Je me suis proposé de mettre hors de doute l'existence d'un pareil rayonnement et de préciser la longueur d'onde des radiations qui le forment.

Les expériences ont été faites à l'électromètre qui, par la mesure des courants d'ionisation produits, donne un moyen d'investigation plus sen-

(¹) G. REBOUL, *Comptes rendus*, t. 171, 1920, p. 1502, t. 172, 1921, p. 210.