Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 4 (1922)

Artikel: Les traces des particules sur la plaque photographique
Autor: Mühlestein, Emile
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-741956

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.09.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LES TRACES DES PARTICULES α

SUR LA

PLAQUE PHOTOGRAPHIQUE

PAR

Emile MÜHLESTEIN

(Avec 10 fig.).

Avant-Propos.

Au mois de mai 1914, M. le professeur Jaquerod nous suggéra l'idée d'une recherche sur l'orientation de la radiation des substances radioactives à l'état cristallisé (15) [1].

Il n'y avait que les cristaux de certaines combinaisons de l'urane qui, pratiquement, pouvaient entrer en ligne de compte ; or, cette substance étant très faiblement active, la mesure du courant d'ionisation donnait des résultats insuffisants ; d'un autre côté, le dénombrement des rayons α, émis par ces cristaux, au moyen des scintillations qu'ils produisent sur un écran de sulfure de zinc, devenait à la longue trop pénible. C'est pourquoi nous avons essayé, dès 1916, d'enregistrer les rayons α sur la plaque photographique (12).

Ainsi nous avons été amené à étudier de plus près *l'effet individuel* des rayons α sur les couches sensibles au gélatino-bromure d'argent, qui fait l'objet principal du présent mémoire. Le sujet a été traité plusieurs fois, ces dernières années, mais les résultats déjà acquis, éparpillés dans les périodiques de différents pays, n'ont pas encore été comparés entre eux ; nous ne manquerons donc pas de les résumer et de les dis-

[1] Les numéros entre parenthèses renvoient à la liste bibliographique située à la fin de cet article (p. 66).

cuter au courant de ce travail. Nous croyons pouvoir contribuer à systématiser ces résultats, tout en les élargissant et en montrant l'intérêt qu'ils peuvent avoir pour l'étude de certains phénomènes radioactifs.

Dans un second mémoire qui sera publié prochainement dans le *Journal de Chimie physique,* nous étudierons la nature intime de l'impression du grain de bromure par les rayons α et toutes les questions qui se rapportent à l'impression latente ainsi qu'à l'imprsssion visible (« noircissement direct »). Nous décrirons aussi certaines actions curieuses (14) du bombardement intense des couches sensibles par les particules α *(effet intégral).*

1. — Historique.

En comptant les scintillations, produites sur un écran de sulfure de zinc, Regener (16) avait réussi, en 1908, à dénombrer les particules α émises par une quantité déterminée de substance radioactive; simultanément Rutherford et Geiger (17) arrivèrent aux mêmes fins par la méthode de l'ionisation par choc. Ces résultats permettaient au physicien japonais Kinoshita (1 ; 4), qui travaillait alors avec Rutherford, d'établir que l'effet sur la plaque photographique est proportionnel au nombre de particules qui ont frappé la plaque ; il y arrivait par la mesure de la densité photométrique du noircissement; ensuite, en comptant les grains de bromure d'argent développés dans un film très mince, il démontrait que leur nombre était sensiblement égal à celui des particules qui les avaient impressionnés. Il était dès lors très probable que chaque particule α est capable de produire un effet individuel, reconnaissable sur la plaque photographique.

Kinoshita a aussi étudié l'absorption des particules α par la gélatine des plaques photographiques (en les faisant traverser un nombre croissant de films très fins de gélatine) et envisagé le passage d'une seule particule α à travers plusieurs grains de bromure consécutifs. Vu ceci, et en remarquant que l'auteur dans son explication de l'effet photographique des rayons α, (dont nous parlerons en détail dans le second mémoire), a émis

l'avis que le révélateur agit exclusivement sur les grains touchés par les particules, il nous semble assez étonnant que KINOSHITA n'ait pas essayé de mettre en évidence la profondeur du noircissement correspondant au parcours entier des particules dans la couche sensible ; ainsi, après les avoir fait agir sur des plaques à couche extra-épaisse, il aurait pu effectuer des coupes à travers ces pellicules, enlevées du substratum après développement.

Dans toutes les expériences de KINOSHITA les particules tombaient normalement sur la plaque. La structure granuleuse des pellicules photographiques pouvait faire prévoir qu'une particule individuelle produirait une trace discontinue lorsqu'elle entrerait dans la couche sensible à incidence très oblique ou presque rasante.

C'est REINGANUM qui, en 1911, découvrit ces *séries de points* en ligne droite. D'après sa courte communication (2) il faut croire que cette belle trouvaille est due à un heureux hasard plutôt qu'à des expériences faisant suite à des considérations auxquelles auraient pu donner lieu les expériences de KINOSHITA.

En 1912, le jeune physicien tyrolien WILHELM MICHL (3) étudiait de plus près ces traces des rayons α. Il établit :

1. que toutes ces traces rayonnent autour de la source de radiation ;

2. que la longueur des traces et le nombre de leurs points développés sont en proportion constante ;

3. que ces deux grandeurs décroissent linéairement, lorsque la distance des traces à la source rayonnante augmente. (MICHL utilisait même cette propriété pour déterminer la longueur du parcours — le « range » — des rayons α dans l'air atmosphérique ; à cet effet, il extrapolait pour une longueur des traces = 0 et un nombre de points = 0 et trouvait ainsi comme distance maximale de la source rayonnante 3,8 cm, c'est-à-dire le range des rayons α du polonium dans l'air.[1]

4. MICHL constatait en outre que le diamètre des grains développés des traces est sensiblement le même que celui des grains impressionnés par la lumière et développés.

[1] Voir chap. 3 (A. α.) et chap. 3 (C. α.).

5. Il observait aussi la pénétration de la trace dans la couche sensible: Au moyen de la vis micrométrique du microscope, on peut facilement voir comment les points consécutifs d'une trace oblique descendent progressivement dans la couche.

6. Enfin MICHL découvrit déjà le joli phénomène des traces partant radialement d'une source rayonnante punctiforme, située à la surface de la plaque photographique.

MICHL n'a pas réussi à déterminer d'une façon suffisamment exacte le parcours maximal des particules dans la couche sensible. Nous aurons l'occasion de revenir à plusieurs reprises sur sa manière de procéder et sur ses résultats. Les deux auteurs, REINGANUM et MICHL ont illustré leurs communications de dessins, sans reproduire des microphotographies; toutefois le premier semble avoir montré une microphotographie à la séance de la Société allemande de Physique, à Karlsruhe (28 septembre 1911).

Ici, il y a peut-être lieu de renvoyer le lecteur qui voudra se faire une première idée du phénomène, aux microphotographies, fig. 1-3, que nous avons publiées en 1917 (12).

Depuis les travaux fondamentaux de KINOSHITA, REINGANUM et MICHL, quatre publications se sont encore occupées spécialement des « traces photographiques » de rayons α:

WALMSLEY et MAKOWER (7) auraient observé et microphotographié de brusques changements de direction dans les traces. Sur cette question des « déflexions », Michl et Reinganum avaient déjà donné des indications contradictoires; nous aurons l'occasion d'y revenir (4. D.).

Les travaux ultérieurs ont été faits à l'Université impériale de Tokyo, par KINOSHITA et IKEUTI (8), et au Government College à Lahore, par SAHNY (9). Leurs auteurs, sans avancer beaucoup de points de vue nouveaux, apportent une foule de détails expérimentaux qu'il serait difficile de résumer dans un court aperçu historique. Nous les citerons dans la suite en touchant aux questions spéciales qui y sont relatives. N'oublions pas de remarquer que ces travaux contiennent les reproductions d'un certain nombre de belles microphotographies.

2. — Plaques et révélateurs photographiques.

A. *Plaques photographiques.* — Reinganum (2), Mayer (5) et Sahny (9) ont déjà insisté sur le fait que le choix des plaques est d'une grande importance pour la bonne réussite des radiographies en question. (Nous verrons plus loin que pour certaines applications des traces photographiques, notamment pour le dénombrement des rayons α, ce choix devient encore plus difficile.) Les auteurs cités insistent uniquement, d'ailleurs, sur la question principale de la « clarté » des plaques.

La plupart des plaques, si on les développe sans aucune impression lumineuse préalable, et même sans lumière de chambre noire, montrent sous le microscope (avec un agrandissement de 200-300, même déjà de 100, en utilisant un très bon objectif) un nombre étonnant de grains noirs, développés, lors même que ces plaques sont absolument transparentes à l'œil nu. Or, pour bien observer le phénomène des traces, et surtout pour pouvoir les dénombrer, aucun « grain fou » ne devrait voiler la plaque.

Disons d'emblée qu'aucune des nombreuses sortes de plaques que nous avons essayées, ne remplit pleinement cette condition; avant la guerre nous aurions certainement trouvé mieux. Et c'est vraiment dans les plaques que semble résider le mal : en effet, en fixant, sans la développer, une plaque des plus claires, dans l'obscurité complète, on remarquera toujours sous le microscope (agr. 400-500) un certain nombre de grains, sinon noirs, du moins un peu plus foncés que le reste de la plaque : ce sont les germes des grains fous qui proviennent probablement d'une fabrication ou de matières premières imparfaites. Nous n'avons pas trouvé de meilleures plaques que les plaques photomécaniques marque « Sigurd-Foto » de la maison Rich. Jahr, à Dresde, qui ont déjà été recommandées par Reinganum, (2) et utilisées ensuite par Michl (3) et Mayer (5). Sous le rapport de la clarté, les « lantern-plates » de la maison Wratten et Wainwright, recommandées par Sahny (9), sont équivalentes à la « Sigurd-Foto ».

Mais pour obtenir de belles radiographies, d'autres qualités

encore sont désirables : il faudrait que le grain développé soit très fin, régulier et bien noir. C'est généralement les plaques photomécaniques qui remplissent le mieux ces conditions (la « Sigurd-Foto » possède un grain très arrondi d'un diamètre de 0,6 à 1,0 microns après le développement effectué suivant le mode que nous indiquerons plus bas).

Les plaques rapides avec leur grain gros très inégal et irrégulier (à contours anguleux et même parfois tentaculaires, suivant le mode et la durée de développement) ne se prêtent pas aux expériences en question. Comme les plaques extra-sensibles ont été utilisées à plusieurs reprises pour étudier certaines propriétés des rayons α (par exemple leur déviation ou leur dispersion), il y a lieu de se demander si la sensibilité optique des plaques intervient et quel est son rôle lors de l'impression des couches sensibles par les particules α ; nous reviendrons sur cette question dans notre second travail.

Par contre l'expérimentateur a tout intérêt à travailler avec une plaque peu sensible, car certaines manipulations (surtout la mise en marche et le contrôle du mouvement d'un appareil enregistreur) exigent absolument une illumination minimale. A cet égard, ce sont encore les plaques photomécaniques, généralement 8 à 20 fois moins sensibles que les plaques ordinaires, qui se prêtent le mieux aux expériences.

B. *Le développement des plaques.* — Après avoir essayé l'hydroquinone, puis les révélateurs « Glycine » et « Rodinal » qui donnent des clichés très clairs, nous avons obtenu les meilleurs résultats avec un révélateur à base de *pyrocatéchine* qui a déjà été recommandé par Mayer (5) pour cet emploi. C'est Baisch, dans un travail sur la loi des radiations de Wien et Planck (18), qui en avait indiqué la composition ; la voici :

Solution A	Eau dist.	250 g	Solution B	Eau dist.	250 g
	Pyrocatéchine	5 g		Phosphate de soude cristallisé ($Na_2HPO_4, 12H_2O$)	47 g
	Sulfite de soude (cristallisé)	20 g		Soude caustique	5 g

On mélange, avant de développer, 20 cm³ de la solution A
10 cm³ de la solution B
20 cm³ d'eau, en ajoutant

10 gouttes d'une solution de bromure de potasse, concentr. $^1/_{10}$. La durée de développement de 7 minutes a été indiquée par Baisch. Pour nos radiographies, 2 $^1/_2$ minutes sont suffisantes, ceci à une température de 15 à 17 centigrades ; de 20 à 22 degrés, il est indiqué d'ajouter environ 30 cm^3 d'eau au lieu de 20 cm^3.

Ce révélateur donne des grains noirs sur toutes les plaques photomécaniques que nous avons essayées, par exemple sur la « Sigurd-Foto », la photomécanique de Schleussner, l'Ilford-Process, la Wratten et Wainwright-Process etc. Par contre les plaques pour diapositifs, notamment la Wratten-Lantern qui serait si recommandable au point de vue de la clarté, donnent avec la pyrocatéchine un grain brun, trop clair et par conséquent pénible à observer ; en outre, on a souvent l'impression que ces plaques sont incomplètement développées par ce révélateur, du moins si on développe pendant la durée indiquée ci-dessus ; (c'est particulièrement le cas pour les plaques au lactate d'argent, pour projections, de la maison Guilleminot, qui, d'un autre côté, se recommanderaient par leur clarté et la finesse presque excessive de leur grain). Il suffirait évidemment de prolonger le développement pour obtenir des grains meilleurs ; mais pour éviter le voilage des plaques, on doit les développer pendant le temps minimal nécessaire pour révéler les traces. Or, nous montrerons dans notre second mémoire que ce temps est sensiblement plus court que celui qui est nécessaire pour développer des impressions lumineuses.

C. — *Précautions contre les impressions lumineuses.* — Nous avons remarqué que même les plaques photomécaniques qui sont pourtant très peu sensibles et sûrement pas ortho-ou panchromatisées, se voilent à la longue dans la lumière rouge. Un voile intolérable peut se produire déjà au bout de 15 minutes, avec une lampe de 10 bougies à une distance d'environ 10 cm de la plaque, même quand le verre rouge est encore doublé d'un verre jaune foncé. C'est avec l'écran de sûreté de Wratten et Wainwright (Safelight Séries No. 3, pour le traitement des plaques panchromatiques) que l'on peut travailler le plus tranquillement. Doublé d'un second verre jaune foncé, on obtient avec une lampe de 10 bougies une lueur vert-foncé, presqu'abso-

lument inactinique, très faible, mais suffisante pour les manipulations dont nous allons parler.

3. — La mesure du parcours des particules α dans la couche sensible.

A. *La production des traces et les méthodes de mesure.* — *a)* Comme source de radiation, Michl (3) utilisait une très petite lame de platine de forme carrée (0,25 mm de côté), recouverte d'un dépôt de polonium ; il plaçait cette petite surface perpendiculairement sur la plaque photographique et obtenait ainsi des traces sur une surface demi-circulaire dont le rayon était de 2,5 cm. Nous avons répété ces expériences avec un dispositif assez semblable et trouvé le même résultat.

Par le procédé de Michl que nous avons indiqué plus haut, il est impossible de mesurer des traces photographiques entières, c'est-à-dire qui n'ont pas traversé une couche d'air d'une certaine épaisseur avant d'entrer dans la couche de gélatine. Car, tout près de la source de radiation, les traces sont tellement nombreuses, qu'elles se superposent et forment une tache noire presqu'uniforme. L'auteur mesurait alors des traces qui se trouvaient à des distances de 4, 8, 12, 16 et 20 mm, au nombre de 20 à chacune de ces distances ; il prenait la moyenne de leurs longueurs pour chaque distance et obtenait ainsi des valeurs comprises entre 20,8 microns pour la distance de 4 mm et 11,0 microns pour la distance de 20 mm. La droite représentative de ces résultats, portés sur un graphique, coupait l'abscisse à une distance de 3,8 cm (= environ au parcours des particules α dans l'air) et l'ordonnée à une distance correspondant à 23 microns, longueur de la trace entière. Dans son second travail sur les traces, Michl (6) répétait l'expérience en opérant dans un vide d'environ 6 mm, pour lequel le parcours dans l'air serait d'environ 4900 mm. Le pouvoir freinant (absorbant) de l'air étant alors négligeable sur un chemin de 10 mm, Michl croyait obtenir directement la vraie longueur du parcours dans la gélatine, en mesurant la longueur des traces à cette distance de la source de radiation, surtout après qu'il eut démontré que le raccourcissement éventuel des traces par le fait d'une dissolu-

tion partielle de la couche sensible (qui pourrait avoir lieu ensuite des procédés du développement, du fixage et du lavage des plaques) était négligeable, cette usure de la plaque restant sûrement inférieure à 0,2 microns d'épaisseur.

Dans la seconde expérience, MICHL obtint, sur 20 traces (mesurant de 17,1 à 27,1 microns), une valeur moyenne de *22,9 microns*. Disons d'emblée que cette longueur est sans doute sensiblement trop courte. Nous verrons plus loin (3. B.) que notre méthode donne une longueur de *27,7 microns*.

La plus grande source d'erreurs dans les expériences de MICHL réside probablement dans les idées sur le nombre et la répartition des grains de bromure dans la couche sensible qui sont à la base de son hypothèse suivant laquelle les rayons α ne sont pas capables d'impressionner également tous les grains de bromure situées sur leur parcours. Nous discuterons plus loin (4. C.) cette hypothèse, tout en optant dès maintenant pour celle qui lui est diamétralement opposée. Il suffit de remarquer que la distance moyenne des grains développés d'une trace est de 2,7 microns, pour expliquer toute la divergence entre le résultat de MICHL et le nôtre. En effet, le cas général est sûrement celui où une particule α en entrant dans la couche sensible, ne rencontre pas immédiatement un grain de bromure sur son chemin; de même il pourra généralement pénétrer encore plus loin dans la gélatine, après avoir quitté le dernier grain qu'il a pu impressionner.

b) MICHL (6) a fait encore une seconde expérience directe pour obtenir le parcours dans la plaque en question (« Sigurd-Foto » de Jahr). Vu que l'épaisseur des couches sensibles est plus petite que 22,9 microns (généralement, d'après nos mesures, elle ne dépasse pas 20 microns, du moins pour des plaques photomécaniques) il faisait entrer les particules latéralement sur une surface de coupe, soigneusement taillée perpendiculairement à la plaque. Ici encore, il y a une source d'erreur, moins importante, il est vrai, mais agissant dans le même sens: c'est la contraction irrégulière de la gélatine près des bords de la plaque, phénomène que l'auteur avait pourtant envisagé à un autre propos et dont nous parlerons encore (3. B. e. et 4 D.).

c) Un troisième procédé pour produire les traces photogra-

phiques des rayons α permet de mesurer plus exactement et bien plus aisément la longueur du parcours. Il consiste à « infecter » la surface de la couche sensible de quantités minimes, pratiquement punctiformes, de substance active. MICHL était déjà sur le bon chemin lorsqu'il perçait une feuille d'étain au moyen d'une pointe d'aiguille qu'il avait préalablement frottée doucement sur une surface polonisée. Ainsi, de très petites quantités de substance active restaient collées sur les bords renversés du trou ; en appliquant ce côté de la feuille sur la plaque photographique et en chargeant la feuille d'une plaque de verre, il obtenait au bout de quelques heures de belles traces, disposées *radialement* autour du point rayonnant. Mais il n'a pas pensé à mesurer ces traces.

KINOSHITA et IKEUTI (8) prenaient comme source de radiation une pointe d'aiguille activée par frottement léger sur une surface métallique qui avait été exposée à quelques millicuries d'émanation du Radium. Avec cette pointe, ils *touchaient* la plaque photographique pendant « peu de temps » et la développaient après avoir laissé agir la substance active, restée adhérente à la plaque, « pendant un temps convenable ». Ils obtenaient ainsi de petites taches noires, juste encore perceptibles à l'oeil nu. Sous le microscope, on y distingue *3 zones concentriques :*

1° — un « noyau » compact, provenant de l'effet mécanique de la pointe qui avait touché la couche sensible;

2° — une zone de traces (ou « chaînes ») radiales qui toutes se terminent à peu près sur une circonférence de cercle. C'est l'ensemble des traces de particules α qui sont entrées immédiatement dans la couche. Cette zone représente, du moins en projection, un phénomène tout à fait analogue aux « halos pléochroïques » de certains minéraux qui sont, eux aussi, l'effet des rayons α, comme l'a démontré rigoureusement JOLY (19). Avec les deux auteurs japonais, nous appellerons dorénavant « *halo* » cette zone principale. — La délimitation entre le noyau et le halo n'est pas toujours nette, surtout si le halo est très riche en traces, car leur superposition près de leurs points de départ produit comme effet l'apparence d'un élargissement du noyau ;

3° — une zone extérieure, plus large et mal délimitée, est formée par les « chaînes de points » qui dépassent le halo. Ce ne

sont pas des traces plus longues que celles du halo ; elles proviennent de particules qui, avant d'entrer dans la couche sensible, ont traversé l'air sur un parcours plus ou moins long. Il y a lieu d'admettre que ces particules ont été émises par des parties du dépôt actif qui étaient situées légèrement *au-dessus* de la surface de la pellicule. — La différence entre le rayon du halo et celui du noyau représente à peu près la vraie longueur du parcours des particules α du Ra C dans la couche sensible. Kinoshita et Ikeuti trouvent pour cette longueur 54 microns, sur des plaques « Ilford Process », et arrivent ainsi à une valeur comparativement plus exacte que celle donnée par Michl pour le polonium.

Les mêmes auteurs ont déjà remarqué que le noyau peut se réduire considérablement et même manquer complètement dans le cas où le centre rayonnant est formé par un grain de poussière active. Le diamètre du halo donnerait alors directement la double valeur du « range » dans la couche sensible. Dans son travail sur le parcours des rayons α du Ra A (11), Ikeuti fait remarquer que les halos concentriques du Ra A et du Ra C présentent des rayons qui sont dans le même rapport que les « ranges » de leurs particules α dans l'air. Il en conclut que les dimensions de ces infimes quantités de substance active sont pratiquement négligeables. Pour les produire, il faisait frapper contre la plaque photographique des petites sphères en acier, activées dans l'émanation du Radium.

Sahny (9) laissait les pointes d'aiguilles pendant toute la durée de l'expérience en contact avec la plaque. Pour écarter les rayons α provenant des parties plus élevées de l'aiguille, celle-ci n'émergeait que par sa pointe d'un morceau de carton.

B. *Nos propres expériences et résultats.* — *a)* Après avoir répété presque toutes les expériences que nous venons de décrire, nos efforts se dirigèrent surtout vers l'obtention de *halos mieux délimités.* Nous avons d'abord essayé d'augmenter l'adhérence des poussières actives à la plaque photographique, en les lançant avec une certaine vitesse contre la couche sensible ; une lame d'acier de ressort, large d'environ $1^1/_2$ cm et légèrement rodée à l'émeri d'un côté, était exposée à l'émanation, enfermée dans un récipient en verre, sur du mercure. La lame activée fut ensuite fortement courbée — son côté rodé à l'extérieur — et

lâchée contre le bord de la plaque le plus éloigné de l'opérateur. Les poussières radioactives, ainsi projetées sur la plaque, produisaient des halos plus nets (voir la figure 3 de notre première communication (12) qui est environ de la qualité des meilleures microphotographies publiées par KINOSHITA et IKEUTI (8); mais le résultat ne nous suffisait pas.

Nous avons ensuite cherché un moyen d'arrêter toutes les particules α dont le point de départ était situé au-dessus de la surface de la plaque, donc de *supprimer complètement la troisième zone de* KINOSHITA *et* IKEUTI (voir 3. A. c.). A cet effet nous avons d'abord appliqué la couche sensible de la plaque, infectée de poussière radioactive, sur une surface de mercure; mais pour éviter que certaines impuretés du mercure qui se rassemblent à sa surface, ne viennent agir sur la pellicule, nous avons préféré immerger complètement la plaque dans le mercure. Pour réaliser ce procédé, déjà esquissé dans notre première publication (12), on opère le plus commodément en fixant la plaque photographique sur le fond d'une petite boîte en carton, dont une dimension est semblable à une de la plaque, et en la forçant entre deux côtés; il vaut encore mieux fixer la plaque sur deux de ses bords au moyen de deux morceaux de bois convenablement taillés pour se tenir par frottement entre deux parois de la boîte. Ensuite on infecte la plaque, le plus aisément au moyen du ressort, s'il s'agit du dépôt actif d'une émanation. On peut aussi employer les petites billes en acier, légèrement rodées, que IKEUTI a recommandées, en les frappant assez énergiquement contre la plaque, la boîte étant fermée. Dans le cas de dépôts électrolytiques, comme pour le polonium, on gratte légèrement, au-dessus de la plaque photographique, la surface active au moyen d'une aiguille extrêmement fine. Pour augmenter le nombre des centres rayonnants, on peut aussi poser la lame métallique polonisée, ainsi que l'aiguille qui l'avait grattée, sur la plaque photographique, fermer la boîte et secouer vivement le tout, comme pour le cas des billes. C'est ainsi que nous avons pu obtenir plus de 1500 halos du polonium sur une seule petite plaque de 3×4 cm^2.

Immédiatement après l'infection de la plaque photographique, on la recouvre d'une couche de mercure, haute d'environ 1 cm,

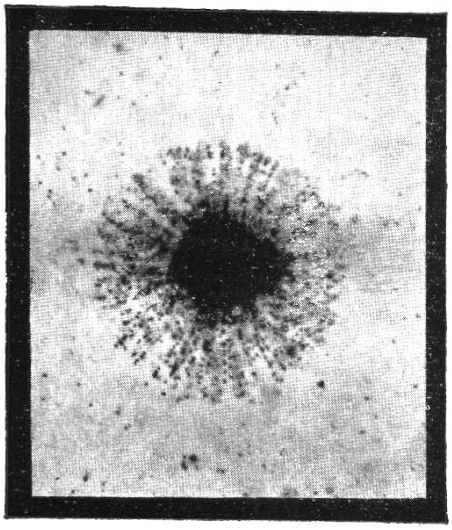
et on laisse agir les sources punctiformes, ainsi captives et pressées sur la plaque, pendant le temps voulu. Si on prend encore la précaution d'ôter le mercure seulement immédiatement avant le développement de la plaque, on obtient des halos parfaitement nets et de forme bien circulaire. Nous avons présenté les premiers spécimens ainsi obtenus à la Séance de la Société suisse de Physique du 4 mai 1918. Les figures 1 et 2 du présent mémoire représentent trois microphotographies du phénomène, obtenues au moyen d'une installation des plus primitives; leurs reproductions n'étaient pas jointes au compte-rendu de la séance (13).

La figure 3 représente un halo du polonium à proximité de quelques halos du Ra C, sur la même plaque, obtenus par infections consécutives, la figure 4 un halo du polonium, superposé à un du Ra C par le même procédé; les deux halos sont à peu près tangents par leurs circonférences. La figure 5 représente quelques halos du radium C, la figure 6 quelques-uns du polonium, tous au même agrandissement.

Le *disque noir* compact sur la figure 2*a* (ainsi que celui sur la figure 3, désigné en marge par le symbole Hg) *n'est pas un halo,* pas plus que celui de la fig. 4 de notre première communication (12), que nous avions rencontré sur la première plaque ayant subi notre procédé d'immersion au mercure. Comme résultat provisoire de nos recherches en vue d'éclaircir ce phénomène, nous pouvons dire qu'il s'agit là d'une action directe ou indirecte du mercure métallique sur la pellicule sensible.

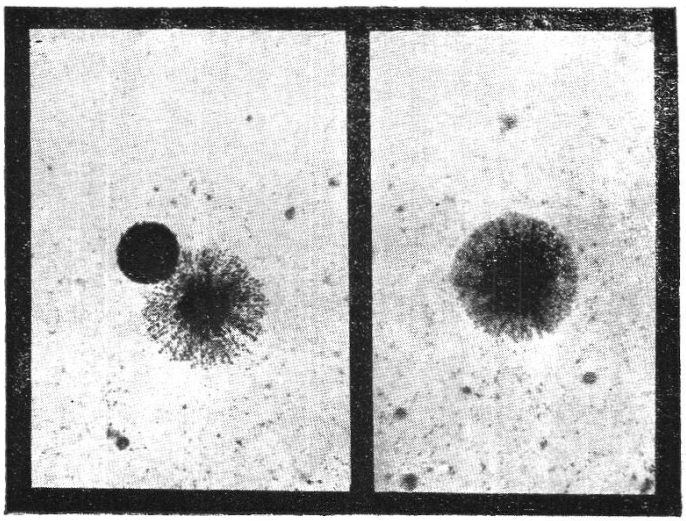
b) Avant de résumer les résultats de nos mesures, insistons encore sur les avantages et envisageons les inconvénients de la méthode de mesure qui consiste à *déterminer le diamètre des halos :* il est très facile de faire coïncider le bord d'un halo avec un des traits longs du micromètre-oculaire du microscope et de se représenter la tangente parallèle au côté opposé de la circonférence. De cette façon on ne mesure donc pas nécessairement la distance entre les points extrêmes de deux traces opposées en direction, traces qui, chacune, pourraient avoir leurs grains finaux plus près du centre que la vraie fin de leur parcours dans la gélatine (voir 3, A, *a*). Bien au contraire, on élimine cette principale cause d'erreur, en mesurant le diamètre de la

Fig. 1.



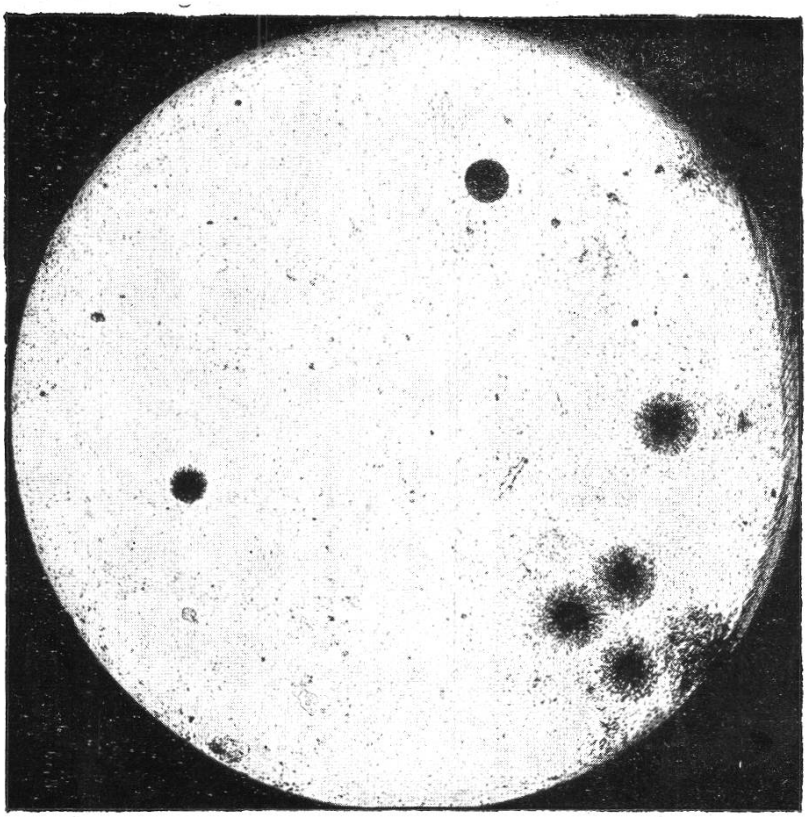
RaC agr. 258 ×

Fig. 2. *a* *b*



RaC agr. 125 ×

Fig. 3



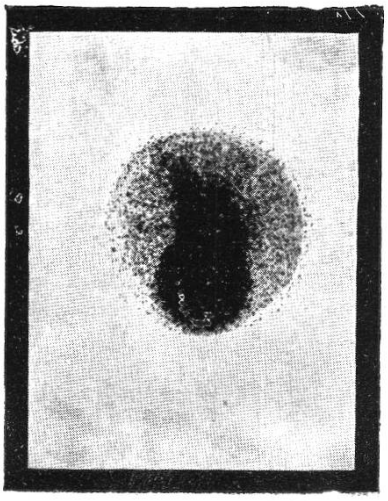
Hg

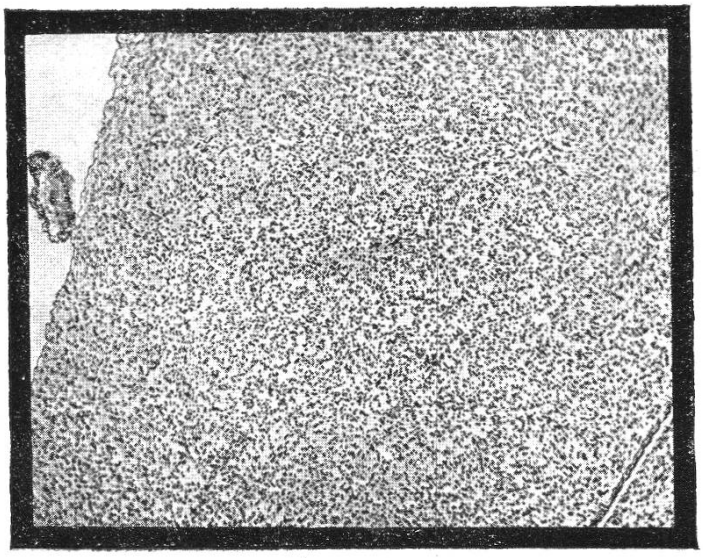
Po

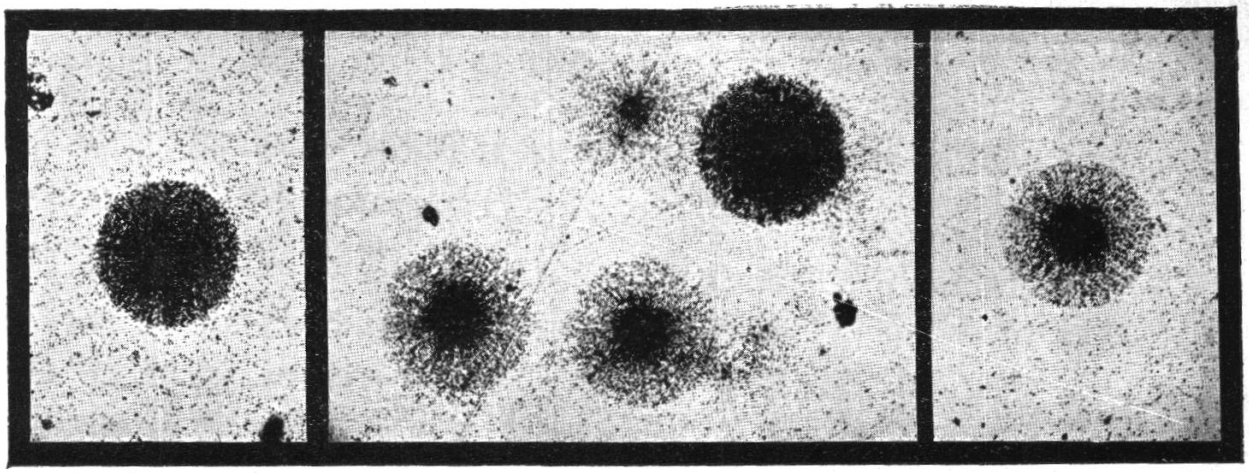
RaC

agr. 63 ×

Fig. 4

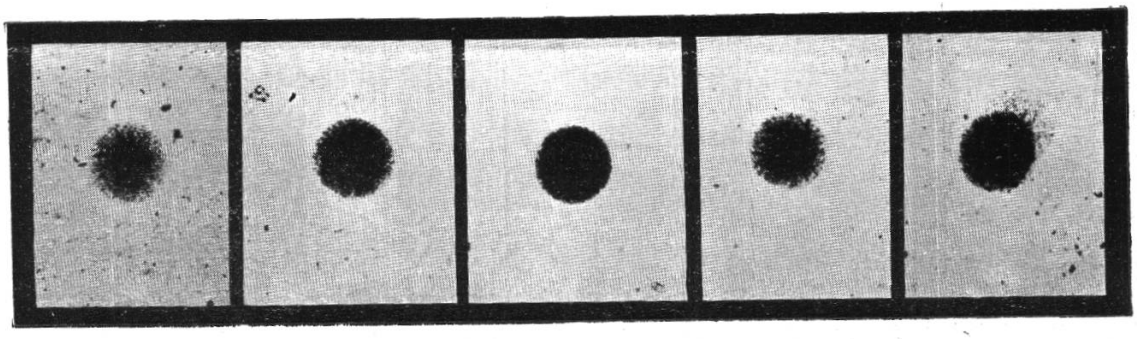






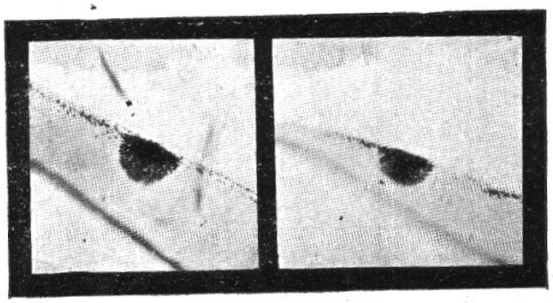
RaC agr. 143 ×

Fig. 6 *a* *b* *c* *d* *e*



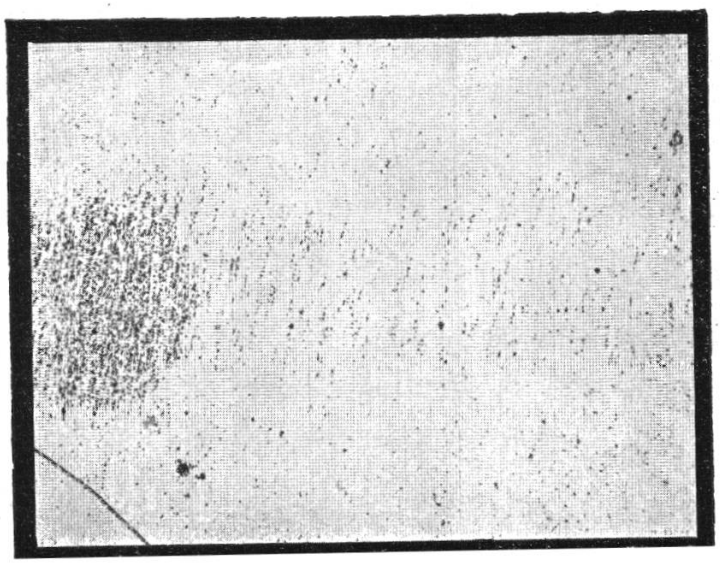
Po agr. 143 ×

Fig. 7



Po agr. 115 ×

Fig. 10



circonférence sur laquelle aboutissent *les plus longues traces* du halo. Une cause d'erreur moins importante, agissant dans le sens opposé, est inhérente à cette méthode : elle réside dans le fait que souvent les dimensions de la source rayonnante ne sont pas tout à fait négligeables, surtout quand il s'agit de poussières détachées au moyen d'une pointe d'aiguille. Dans ce cas, on obtient généralement des halos très riches en traces qui couvrent d'un noircissement opaque une grande partie centrale ou même le cercle entier. Tous les halos de ce genre sont légèrement plus grands que la normale. Il y a donc lieu de les éliminer tout à fait pour ne mesurer que des halos plus pauvres en traces et qui permettent de distinguer les traces sur la plus grande partie de leur longueur jusque presqu'au centre. Il arrive aussi qu'un grain de poussière assez grand, par exemple de quelques microns d'épaisseur, soit formé surtout de substances inactives (comme par exemple de collodium ou d'une autre matière que l'on emploie pour faire adhérer un enduit actif) et qu'un très petit point de ce corps soit actif. Ces cas sont assez faciles à reconnaître : si le centre actif se trouve à un point quelconque de la surface du grain de poussière, il en résulte une *difformité* du halo; par conséquent on éliminera de la mesure tout halo non circulaire.

c) Comme diamètre d'un halo bien formé, nous avons toujours pris la moyenne d'au moins 3 diamètres différents. Ceux-ci diffèrent d'ailleurs très peu les uns des autres, rarement de plus de 2 à 3 $^0/_0$ dans le cas de dépôts actifs d'émanations et de plus de 4 à 5 $^0/_0$ dans le cas des poussières « grattées ». Corrigeons à cette occasion une erreur d'impression dans notre communication antérieure (13) où les 50 $^0/_0$ doivent évidemment être remplacés par 5 $^0/_0$.

c) *Le « range » exact des particules α du radium C,*
sur plaque photo-mécanique « Sigurd-Foto » de Jahr.

1. — *33* halos, y compris des halos assez *riches en traces* (exposition de la plaque : 2 $^1/_4$ heures);
3 diamètres différents de chaque halo.
Moyenne des 99 diamètres . . . . . 100,48 micr.

2. — *12* halos, tous *pauvres en traces* (exposition de la plaque ; 5 $^1/_2$ heures) ; 5 diamètres différents de chaque halo. Moyenne des 60 diam.	99,90 micr.
3. — *13* halos, tous *pauvres en traces* (exposition de la plaque : 40 minutes) ; 3 diamètres différents de chaque halo. Moyenne des 39 diam.	100,04 »
Moyenne . $2R_c =$	100,14 micr.
$R_c =$	50,07 micr.

La comparaison de *1* à *2* et de *3* à *2* fait ressortir l'influence de la dimension du grain actif; dans l'expérience *3*, les grains de dimensions non négligeables ont pu donner des halos pauvres en traces, vu le court temps de pose. En tenant compte de ce que les dimensions du grain actif ne sont pas infiniment petites, on peut donc donner la longueur du parcours, sur la plaque Jahr, égale à *50,0 microns.*

Comparons notre résultat à celui trouvé par Ikeuti (11); cet auteur a mesuré 50,7 microns comme longueur moyenne du parcours sur la plaque « Ilford-Process ». Sur la même plaque, environ 80 mesures nous ont donné une moyenne de 50,3 microns. Non seulement cet auteur a fait toutes ses mesures sur des plaques ayant été exposées pendant peu de temps (environ $^1/_2$ heure), mais encore, il semble avoir mesuré surtout des halos riches en traces. La petite différence entre son résultat et le nôtre est donc suffisamment expliquée.

d) Le « range » des rayons α du polonium. — Ici, les premières mesures nous donnèrent un résultat trop grand : 28,3 microns, explicable par le fait que beaucoup de grains des poussières actives « grattées » n'ont pas des dimensions négligeables. En choisissant soigneusement des halos pauvres en traces, sur une plaque « Sigurd-Foto » qui avait été exposée pendant 72 heures, nous avons obtenu le résultat suivant : les moyennes de trois diamètres différents de chacun des 159 bons halos donnent comme moyenne générale :

$$2\,R_p = (55{,}45 \pm 0{,}04) \text{ microns.} \qquad R_p = 27{,}7 \text{ microns.}$$

e) La seconde source d'erreurs dans les expériences de Michl.

— C'est sur la même plaque que nous l'avons constatée ; 15 halos, situés à moins d'un millimètre des bords de la plaque, nous donnaient comme moyenne générale

$$2\ R_p = (52,7 \pm 0,4) \text{ microns},$$

donc une valeur sensiblement inférieure à celle des 159 halos situés à l'intérieur de cette limite. Ceci est un indice d'une contraction irrégulière de la gélatine sur les bords de la plaque. Or, MICHL a donné dans son second travail (6), comme « experimentum crucis » de son extrapolation à 23 microns, les mesures d'une bande de noircissement, obtenue par l'action des rayons tombant latéralement sur une coupe de la couche sensible, menée perpendiculairement à sa surface, et qui avaient donné 21,4 microns comme « vraie longueur du parcours des rayons α à une distance de 1,5 mm de la source rayonnante ». Conformément à nos observations, cette longueur devait nécessairement être trouvée trop petite.

f) Le rapport des « ranges ». — Le rapport des longueurs de parcours, déterminées par nous, pour le RaC et pour le polonium, à savoir 50,0 microns : 27,7 microns est égal à *1,81* ; celui des ranges dans l'air, 6,94 cm : 3,85 cm = *1,80*.

La concordance est suffisante pour confirmer l'exactitude de nos résultats.

C. *Applications du rapport des « ranges ».* — *a*) On peut utiliser les mesures du parcours dans la couche sensible pour calculer les « ranges » dans l'air. Il est plus aisé d'obtenir les mesures exactes nécessaires d'après la méthode décrite plus haut que de procéder à l'extrapolation au moyen du diagramme de MICHL (3), en se basant sur le nombre et la longueur (inexacte d'ailleurs) des traces à des distances variables de la source rayonnante, tel que MEYER et SCHWEYDLER le recommandent page 258 de leur traité de radioactivité (10).

b) On pourrait être tenté de croire qu'une méthode photographique, basée sur la mesure des parcours à la façon indiquée plus haut, fournirait un moyen aisé de reconnaître facilement la complexité des radiations α d'une famille de corps radioactifs. Or, toutes les substances radioactives de très courte vie semblent être inaccessibles à cette méthode d'investigation, à moins de

se trouver au milieu et éventuellement à la fin d'une série consécutive présentant de très bons points de départ (corps non gazeux, à vie suffisamment longue pour permettre la mise en train de l'expérience). On voit que dans les familles radioactives connues, la possibilité d'obtenir des halos concentriques par ce procédé est très restreinte. Ikeuti (11) aurait ainsi pu mesurer le rapport des ranges pour le radium A et le radium C; malgré tous nos efforts, nous n'avons pas réussi à réaliser les halos concentriques dans ce cas.

c) Nous n'avons pas encore pu découvrir, dans nos halos du *thorium* des traces isolées extraordinairement longues, correspondant à ces rares particules α (1 : 10000) qui atteindraient, dans l'air, jusqu'à des ranges de 10,2 et de 11,3 cm d'après Rutherford et Wood (20).

Dans une récente publication (21), Rutherford émet l'idée qu'il s'agit là, du moins en partie, d'atomes légers que les particules α mettraient en mouvement par choc. Dès que nous eûmes connaissance des importants travaux de cet auteur[1] sur la collision des particules α avec diverses sortes d'atomes, nous nous sommes demandé si ces atomes lancés sont capables d'impressionner la plaque photographique et de produire des traces analogues à celles des particules α.

Nos expériences faites avec l'hydrogène n'ont pas encore donné de résultats positifs. Si ces traces se produisaient, il semble que nous aurions dû en rencontrer quelques-unes au cours de nos recherches; leur très petit nombre permet peut-être d'expliquer que cela n'ait pas été le cas. Si l'on arrivait à les mettre en évidence, on serait en possession d'une nouvelle méthode pour étudier ces phénomènes si intéressants.

d) Ce n'est pas seulement par le moyen des halos *concentriques* que l'on pourrait obtenir des indications sur certains phénomènes radioactifs. Le fait seul de constater à la fois des halos séparés de diamètres nettement différents, pourrait prouver, dans certains cas douteux, la présence de deux substances radioactives différentes; nous avons essayé d'aborder par cette méthode, la question assez discutée, il y a quelques

[1] Voir « Philosophical Magazine », années 1919 et suivantes.

années, de la désintégration bifurquée du thorium C, sans avoir réussi, jusqu'à ce jour, à obtenir des résultats certains.

D. *Effet hémisphérique des particules α émises par des sources punctiformes.* — Nous avons pensé qu'il devait être possible d'obtenir des halos sphériques, comme les halos pléochroïques dans les cristaux, et que l'on pourrait les mettre en évidence par des coupes perpendiculaires à la couche sensible. Il faudrait pour cela couler sur une pellicule dont la surface vient d'être infectée par des poussières radioactives, une seconde couche sensible de gélatine au bromure d'argent. Nous nous sommes contenté de produire des halos affectant la forme de demi-sphères en employant notre procédé d'immersion dans le mercure, avec des plaques à couche extra-épaisse (environ 60 microns) coulées spécialement sur notre demande par la fabrique Jahr. La figure 7 représente deux coupes effectuées au microtome à travers la pellicule détachée de la plaque et incluse dans de la paraffine. L'une des coupes, plus petite que l'autre, doit représenter un cercle plus éloigné du centre de la demi-sphère que l'autre. Les deux fines bandes se sont un peu tordues dans le baume de Canada, le montage étant très délicat à effectuer.

4. — Relations entre les propriétés des traces et la structure de la couche sensible.

Nous avons déjà mentionné le fait que certaines plaques seulement se prêtent bien pour obtenir de bonnes traces; il semble indiquer que la structure des pellicules joue un rôle déterminant dans la production des traces.

A. *Le nombre des grains d'une trace.* — Ce nombre dépend évidemment de la longueur de la trace, mais encore de la répartition des grains de bromure dans la gélatine, donc de la structure de la pellicule sensible. Sur la plaque « Sigurd-Foto », le *nombre* des grains développés le long du parcours des particules α du RaC est de *16* (moyenne de 50 traces = 16,0). Kinoshita et Ikeuti (8) ont trouvé « environ 16 » sur la plaque « Ilford-Process ».

B. *Les distances entre les grains d'une trace.* — Elles dépendent du nombre de grains de la trace et, du moins par-

tiellement, de la *grosseur* du grain. Sur la plaque « Sigurd-Foto » les grains non développés ont des dimensions variant entre 0,25 et 0,75 microns (ils sont donc très constants en grosseur, en comparaison avec ceux d'émulsions extra-rapides qui, d'après nos mesures, varient de 1 à 10 par exemple dans les « grands instantanés » de Lumière et Jougla). Sur 59 grains de la « Sigurd-Foto » nous avons mesuré un diamètre moyen de 0,57 microns. Pour cette plaque photomécanique, la distance moyenne entre les grains d'une trace est donc de

$$\frac{50,0 - 16 \,.\, 0,57}{15} = 2,7 \text{ microns.}$$

Le grain développé étant un peu plus grand (0,6 — 1,0 μ) que le grain de bromure non impressionné, la distance moyenne est un peu plus petite.

Les distances individuelles sont très variables: Nous avons fréquemment mesuré des distances de 4 à 5 microns, entre deux grains consécutifs d'une trace, exceptionnellement même de 7 à 9 microns, par exemple une distance de 4 microns et une autre de 7 microns dans la même trace (comptant 18 points), de même une distance de 7,6 et une de 9 microns dans une autre trace.

D'un autre côté, et abstraction faite des cas exceptionnels où 2 grains consécutifs se touchent, nous avons mesuré la distance moyenne entre les grains d'un certain nombre de fragments de traces où les grains sont particulièrement serrés. Pour 15 séries comptant de 4 à 17 grains, nous avons mesuré des distances totales (entre les premiers et les derniers points) allant de 3,6 à 12,8 microns; en moyenne, les distances entre 2 grains consécutifs y étaient de 1,4 microns.

C. *Tous les grains situés sur le parcours d'une particule α sont-ils impressionnés?* — C'est une question que Michl s'était déjà posée dans son premier travail (3). Cet auteur était de l'avis que « les particules α qui pénètrent dans la pellicule pho« tographique, ne peuvent certainement pas ioniser également « toutes les masses de bromure d'argent situées sur leur che« min ». (Cet avis a passé dans le traité de radioactivité de Meyer et Schweidler (10)). C'est en effet l'idée qui s'impose au

premier abord, vu l'assez grande distance moyenne entre les grains ; mais y a-t-il vraiment tant de probabilités pour que la distance moyenne de 2,7 microns soit supérieure à celle des grains dans une couche « monogranulaire », donc dans une couche représentant environ le $^1/_{40}$ de l'épaisseur ordinaire des pellicules en question ? MICHL a exposé, à une distance de 1 mètre d'une lampe électrique de 32 bougies, une plaque «Sigurd-Foto» pendant 3 secondes ; vu que les grains développés se trouvaient alors beaucoup plus serrés que ceux d'une trace de particule α, l'auteur en concluait l'avis que nous avons déjà cité. Mais il nous semble exclu que, de la façon décrite, l'on puisse impressionner seulement une couche superficielle qui soit vraiment monogranulaire. Il valait certainement mieux réaliser de ces couches très minces et mesurer ensuite les distances entre les grains de bromure. C'est ce que nous avons fait par le procédé indiqué par KOCH et DU PRÊL (22): d'une plaque « Sigurd-Foto », trempée dans l'eau pendant plusieurs heures, nous avons enlevé, avec la pointe d'un couteau, un peu de la pellicule ramollie; puis, nous avons serré cette petite quantité de substance sensible entre deux plaques soigneusement nettoyées et légèrement chauffées sur un bain-marie. On obtient ainsi à certains points de la pellicule extrêmement mince des couches strictement monogranulaires. La figure 8 représente la micro-photographie d'une de ces zones, faite en lumière rouge foncée, sur plaque « Wratten panchromatic » (Kodak Ltd.). On peut assez aisément y mesurer la longueur totale de séries de points, situés par hasard en ligne droite, puis, connaissant l'agrandissement qui est de 265, calculer leur distance moyenne. Nous l'avons fait pour 10 séries, à grains serrés, comptant 8 à 19 grains, mesurant de 2,4 à 8,6 mm. La moyenne de 111 distances est de 0,47 mm, ce qui correspond à une distance moyenne réelle de 1,8 microns. — On peut encore compter le nombre de grains de bromure situés sur des lignes droites correspondant à la longueur du parcours des particules α du RaC, c'est-à-dire: $265 \times 0{,}050 =$ 13,25 mm, et prises n'importe où sur la micro-photographie. Sur 50 de ces lignes, nous avons compté en moyenne 15,8 grains, ce qui correspond bien au nombre trouvé plus haut pour le RaC (v. 4. A.).

Nous tenons donc pour très probable que chaque grain réellement touché par une particule α, est rendu développable, et nous nous trouvons en accord, sur ce point, avec KINOSHITA (1) qui était arrivé à cette opinion par un tout autre chemin, comme nous l'avons déjà dit.

On pourrait objecter que nos pellicules monogranulaires ne sont pas comparables à des couches d'épaisseur égale, prises dans des pellicules de plaques photographiques ordinaires, celles-ci étant fabriquées par coulées, sans pression. C'est pourquoi nous avons essayé, malheureusement sans succès, de fournir une preuve indubitable en faveur de notre manière de voir par des expériences *directes,* sur des grains identifiables, analogues aux expériences de KOCH et DU PRÊL (22) avec la variante que, pouvant utiliser un excellent objectif corrigé pour emploi sans couvre-objet (comme ceux utilisés en métallographie), nous avons été quitte de produire les couches sur des couvre-objets comme l'ont fait ces auteurs. Les manipulations en ont été simplifiées. Sur des couches monogranulaires, nous avons fait agir, aux endroits photographiés, des rayons α du polonium, à incidence rasante. Après développement, les plaques furent remises exactement en place, sur la table du microscope, et photographiées une seconde fois en lumière bleue. Nous pensions que par superposition des deux photographies, on pourrait voir directement si, entre les grains d'une trace de la seconde photographie, il se trouve, à la place exactement correspondante, des grains non développés sur la première. Malgré tous nos efforts, nous n'avons pas réussi à obtenir des traces indubitables ; nous n'avons obtenu qu'un essaim de grains, beaucoup moins dense, il est vrai, que sur la pellicule monogranulaire non-impressionnée ; mais les quelques séries de 3 à 5 points en ligne droite que nous avons observées, peuvent très bien être dues au hasard. Il faudrait pouvoir identifier les points de quelques traces à peu près entières, longues d'environ 7 mm ($265 \times 0{,}0277 = 7{,}3$ mm), pour être bien certain que l'on a affaire à une trace de particule α. — Nous n'avons pas trouvé d'explication à notre insuccès, puisqu'il semble bien impossible d'admettre une réflexion des particules α tombant à incidence très rasante sur la gélatine.

D. *Déviations dans les traces.* — Deux mots encore au sujet

de cette question qui est un peu en rapport avec la structure des couches sensibles. REINGANUM (2) avait remarqué que certaines traces, au lieu d'être bien droites, présentaient des courbures, faibles, mais nettes ; il les tenait pour dues au *scattering effect*. MICHL (3) a étudié de près ces courbures ; il trouva d'abord qu'elles se présentaient seulement dans le voisinage des bords de la plaque, non pas au milieu ; après avoir écarté d'autres explications, cet auteur arrivait à rendre la gélatine responsable de ces déformations des traces : il admet des différences de contraction de la gélatine, lors du séchage. Près des bords de la plaque, les couches supérieures de la pellicule sensible se contracteraient plus fortement vers l'intérieur de la plaque que les couches inférieures. KINOSHITA et IKEUTI (8) expliquent les courbures et ondulations de certaines traces des halos par des déformations de la gélatine dans le voisinage des trous produits par la pointe activée ; mais, comme WALMSLEY et MAKOWER (7), ils croient avoir constaté en outre de vraies « déflexions » analogues au « scattering effect » dans les gaz et dans les corps solides ; ils donnent une microphotographie de changements brusques de direction, d'environ 15°. Or, les deux derniers auteurs ont obtenu leurs traces au moyen d'une plaque métallique activée qu'ils posaient en plat sur la pellicule. Il est clair que les particules issues des nombreuses sources de radiation qui agissent dans ce cas s'entre-croisent à maints endroits, ce dont on peut très bien se rendre compte sur la microphotographie, fig. 1, de notre première communication (12). Les auteurs cités se sont bien rendu compte de cela ; néanmoins, et quoique les microphotographies de WALMSLEY et MAKOWER soient loin d'être probantes, ils maintiennent leurs affirmations. SAHNY (9) aussi a observé quelques rares traces présentant une (seule) déflexion. Nous n'avons jamais pu constater de déviations de ce genre, ni dans les halos rares en traces, où l'on devrait pourtant facilement les remarquer, ni surtout dans les nombreuses traces parallèles, obtenues lors de nos expériences pour enregistrer les particules α sur la plaque photographique. WALMSLEY et MAKOWER ne se seraient-ils pas un peu laissé suggestionner par les belles photographies de traces dans la vapeur d'eau, publiées par C. T. R. WILSON (23) ?

5. — L'application des traces au dénombrement des particules α.

Ce sujet étant le point de départ de notre étude des traces de rayons α, nous allons encore résumer brièvement nos expériences faites dans cette direction, quoiqu'elles n'aient pas suffisamment réussi pour pouvoir fournir une nouvelle méthode de dénombrement des particules α. Voici comment nous avons procédé: pour des raisons pratiques, il importe d'abord de savoir jusqu'à quelle *valeur maximum* l'angle d'*incidence* peut atteindre; nous y sommes arrivé en mesurant les distances de pointes actives placées au-dessus de la couche sensible, ainsi que l'éloignement des premières traces utilisables du point de la pellicule situé vis-à-vis de la pointe, ce qui nous donnait la tangente des angles d'incidence. Nous avons constaté que pour l'observation à un grossissement de 400 à 600, on pouvait aller jusqu'à 60° pour pouvoir pointer en même temps au moins quatre points consécutifs d'une trace (12). Pratiquement, nous avons opéré avec des incidences allant de 35 à 55°, obtenues de la façon suivante : La lame polonisée, et recouverte d'un très fin film de collodion, afin d'éviter le détachement de poussières radioactives, fut appliquée contre l'ouverture circulaire a du côté oblique d'un angle en tôle de laiton :

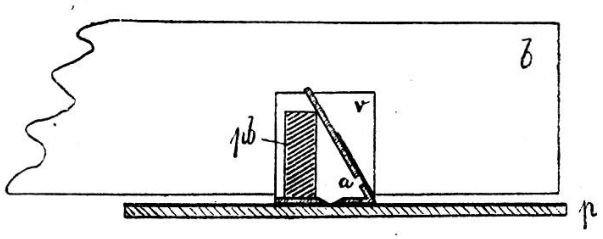


Fig. 9.

(grandeur naturelle ; la pl. phot. (p), se meut perpendiculairement au plan du dessin)

Une partie des particules α émises à travers ce trou pouvait sortir par une petite ouverture conique, faite dans le côté horizontal de l'angle, à une distance convenable pour isoler les particules α émises à peu près normalement à la surface active.

Le petit cercle de cette ouverture conique, du côté de la plaque photographique, avait un diamètre d'environ 0,25 mm.

Pour enregistrer les traces sur la plaque photographique, en évitant qu'elles se superposent, il faut mouvoir ou la source, ou la plaque photographique; c'est cette dernière solution qui est la plus aisée. Nous avons fait marcher la plaque au moyen du chariot d'un vieux phonographe Edison, possédant un pas de vis de 0,25 mm; un petit électro-moteur et un vieux mouvement de compteur à gaz, à 4 multiplications différentes, nous permettaient de varier la vitesse; ainsi nous avons pu obtenir que le chariot avance de 3-4 mm à la minute jusqu'à 0,003 mm à la minute, mettant donc de 40 minutes à 28 jours pour avancer de toute la longueur de la vis (120 mm). Nos sources radioactives étant assez intenses, nous avons généralement employé une vitesse de 2 à 2,5 mm à la minute. 7 ou 8 expériences, de 5 minutes chacune, furent faites sur la même plaque, à des intervalles d'environ 1 heure. Pendant les repos, il se produisait sur la plaque des points de noircissement intense qui pouvaient servir de points de repère pour l'examen microscopique de la plaque.

Pendant le mouvement du chariot, les petits appareils portant les sources de radiation (on peut en poser 4 à la fois sur une plaque 4 $^1/_2 \times 12$) étaient retenus par une barre (b) transversale, placée verticalement au-dessus de la plaque sans la toucher. Afin d'assurer l'immobilité des petits appareils, il fallait compléter chacun de ces angles par une plaque verticale (v), soudée contre les côtés de l'angle et bien perpendiculaire au côté horizontal reposant sur la pellicule. Un petit bloc en plomb (pb), tout en arrêtant les particules α qui auraient pu se marquer sur la bande voisine, assurait la stabilité de l'appareil. Si la table du chariot, portant la plaque, est bien horizontale, on peut obtenir une marche bien régulière des petits appareils, si bien qu'ils ne dévient que de quelques dixièmes de millimètres, au maximum d'un mm, sur toute la longueur utilisable de la plaque photographique, c'est-à-dire sur environ 100 mm. On voit sur notre figure 10 comment les traces s'alignent sur la pellicule à côté d'un point d'arrêt de quelques minutes. Pour pouvoir les observer commodément ou pour les

compter, il est indispensable d'utiliser une bonne platine mobile, permettant de promener la plaque sous l'objectif du microscope dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre. *L'optique* du microscope doit donner un agrandissement suffisant, tout en possédant un champ visuel maximal, permettant d'éxaminer la plaque sur une largeur environ double de celle de la bande de la pellicule contenant les traces enregistrées, bande qui mesurait, dans nos éxpérinces, 0,16 à 0,20 mm. Nous avons essayé les diverses combinaisons des maisons principales d'optique microscopique et trouvé que l'optimum est fourni par l'objectif au fluorite 4,5 mm de Winkel (Göttingen) qui donne, avec l'oculaire complanatique N° 4 de la même maison, un agrandissement de 340 et un champ visuel objectif large de 0,45 mm et très plan. L'objectif doit être corrigé pour emploi sans couvre-objet afin d'éviter que l'on doive coller de longs couvre-objets (10 cm) sur chaque plaque, ce qui serait assez délicat à faire bien régulièrement. Deux repères parallèles dans l'oculaire permettent de compter les traces contenues dans des portions égales de la bande d'enregistrement.

La méthode de dénombrement que nous venons de décrire présenterait de grands avantages en comparaison de celle qui consiste à compter les scintillations. Quoique assez pénible, elle l'est beaucoup moins que la dernière et surtout elle est objective. Malheureusement elle n'a pas encore fourni de preuves de son utilité; mais la cause de nos insuccès réside dans les plaques photographiques, non pas dans des difficultés expérimentales inhérentes à l'appareillage. Les plaques « Sigurd-Foto » ne suffisent pas, même si l'on prend toutes les précautions que nous avons indiquées plus haut et, en plus, des précautions spéciales lors de l'emballage des plaques (que la fabrique Jahr a bien voulu prendre pour les plaques qu'elle nous a spécialement préparées). Certains métaux agissent sur les couches sensibles (par contact ou à de petites distances); pour éviter un voilage par ce fait, nos petits appareils, portant les sources de radiations, étaient argentés. Un voile très léger serait peut-être tolérable, vu que les traces sont assez bien reconnaissables; mais de très fines *stries,* formant sous le microscope des traînées noires, traversent les plaques dans tous les sens, et rarement nous avons obtenu

une bande d'enregistrement (correspondant à l'une des sept à huit expériences consécutives de 5 minutes chacune, produites par une source sur la même plaque) qui soit vraiment utilisable pour le dénombrement. La figure 10 représente justement une petite région utilisable.

Résumé.

Après avoir fait l'historique de l'étude des traces de particules α dans les pellicules sensibles (effet « photographique » individuel des particules α), nous avons décrit les procédés pratiques pour les produire. Notre méthode consistant à immerger dans du mercure les plaques infectées, pendant le temps de pose, permet d'obtenir des radiographies nettement circulaires à partir des centres actifs adhérant à la plaque.

Le rayon de ces « halos » donne la longueur du parcours dans la couche sensible. Celui-ci est de 50,0 microns pour les particules α du RaC et de 27,7 microns pour celles du polonium. Le rapport étant sensiblement le même que celui des « ranges » dans l'air, les dimensions des centres rayonnants étaient pratiquement négligeables.

Nous avons discuté les sources d'erreurs inhérentes à la valeur trop faible de Michl (23 microns) pour le polonium.

Un centre rayonnant punctiforme, situé à la surface d'une pellicule sensible suffisamment épaisse, produit dans cette pellicule une impression de forme hémisphérique que nous avons pu mettre en évidence.

Les traces « photographiques » des particules α présentent encore une série de problèmes non résolus dont le plus important est la question de savoir si la particule impressionne tous les grains de sel d'argent qu'elle rencontre sur son chemin. Nous avons donné un nouvel argument pour une réponse affirmative ; la preuve directe reste encore à faire.

L'enregistrement des particules α au moyen de leurs traces dans la couche sensible serait assez facilement réalisable ; les plaques photographiques actuelles ne se prêtent pas suffisamment à cette application.

BIBLIOGRAPHIE

A. *Liste des publications traitant de l'action photographique des rayons α.*

(Ordre chronologique.)

1. S. Kinoshita, *Proc. of Roy. Soc.* A. **83**, p. 432, 1910.
2. M. Reinganum, *Verh. d. D. Phys. Ges.* **13**, p. 848. 1911.
   — *Phys. Z. S.*, **12**, 1076, 1911.
3. W. Michl, *Ber. d. Wiener Akad., math. natw. Kl.*, **121** (2*a*), p. 1431, 1912.
4. E. Rutherford, Radioactive Substances and their radiations, Cambridge, p. 305, 1913.
   — Radioaktive Substanzen und ihre Strahlungen, *Handb. d. Radiologie*, Bd. II, herausgeg. von Erich Marx, Leipzig, p. 259, 1913.
5. F. Mayer, *Ann. d. Phys.* (4), **41**, p. 931 (960), 1913.
6. W. Michl, *Ber. d. Wiener Akad., math. natw. Kl.* **123**, (2*a*), p. 1955, 1914.
7. H. P. Walmsley et W. Makower, *Proc. Phys. Soc.* **26**, p. 261, 1914.
   — *Nature*, **93**, p. 367. 1914 (sans reproductions).
   — *Phys. chem. Zentr. bl.*, **11**, p. 36 (sans repr.).
   — *Beibl. Ann. d. Phys*, **39**, p. 50, 1915 (sans repr.).
8. S. Kinoshita et H. Ikeuti, *Phil. Mag.* (6), **29**, p. 420, 1915.
9. R. R. Sahny, *Phil. Mag.* (6), **29**, p. 837, 1915.
10. St. Meyer et E. v. Schweydler, Radioaktivität, Leipzig et Berlin. p. 183, 1916.
11. H. Ikeuti, *Phil. Mag.* (6), **32**, p. 129, 1916
12. E. Mühlestein, *Arch. d. Sc. phys. et nat.*, Genève (4), **44**, p. 63, 1917.
13. — » » » » » » (4), **46**. p. 48. 1918.
14. — » » » » » » » (5), **2**, p. 423, 1920.

(Les Nos 1 et 14 ne s'occupent pas des *traces*).

B. *Liste des autres publications citées dans le texte.*

15. E. Mühlestein, *Arch. des Sc. Phys. et nat.*. Genève (5), **2**, p. 240, 1920.
    — *Revue générale des sciences*, **31**, p. 510, 1920.
16. E. Regener, *Verh. d. D. Phys Ges.* **10**, p. 78, 1908.
17. E. Rutherford et H. Geiger. *Proc. of Roy. Soc.*, A. **81**, p. 141, 1908.
    — *Phys. ZS.* **10**, p. 1, 1909.
18. B. Baisch, *Ann. d. Phys.*, **35**, p. 543 (565), 1911.
19. J. Joly, *Phil. Mag.* (6), **19**, p. 327, 1910.
    — voir aussi E. Rutherford, Radioactive Substances and their... p. 309 et fig. 82 A, ainsi que: Radioaktive Substanzen, p. 263 et fig. 77 A
20. E. Rutherford et A. B. Wood, *Phil. Mag.* (6), **31**, p. 379, 1916.
21. E. Rutherford, *Phil. Mag.* (6) **37**, p. 571 (580), 1919.
22. P. P. Koch et G. du Prêl, *Phys. ZS.*, **17**, p. 536, 1916.
23. C. T. R. Wilson, *Proc Roy. Soc.*, A. **85**, p. 285, 1911; A. **87**, p. 277, 1912.

Neuchâtel, juin 1921. Laboratoire de Physique de l'Université