Société des Naturalistes Luxembourgeois
Gesellschaft Luxemburger Naturfreunde

Association sans but lucratif

Les auteurs sont responsables de leurs publications. — Tous droits de reproduction et de traduction réservés.

Für Inhalt und Form der Beiträge tragen die Autoren selbst die Verantwortung Nachdruck und Übersetzungsrecht vorbehalten.

N° 12. 28. 12. 1930.

Sommaire: Séance du mois de novembre. — *Albert Gloden:* La théorie des grains de radiation ou photons et sa vérification expérimentale par l'effet Compton. — *P. Schiltz:* Vorläufige Notizen über einige Geoden von Differdingen. — *V. Ferrant:* Faune du Grand-Duché de Luxembourg. Mammifères (suite).

Séance du mois de novembre.

Lundi, le 24 novembre 1930.

Président: M. Pierre MEDINGER.

Membres présents: 14.

1° Le procès-verbal sur la séance du mois d'octobre est lu et adopté après de légères modifications.

2° Discussion sur plusieurs affaires d'ordre interne.

3° M. P. Medinger présente la photographie d'un épicéa de quatre ans qui s'est développé dans une légère couche d'humus sur un rocher de grès de Luxembourg entièrement isolé et compact; la hauteur de la pierre est à peu-près de 0,50 m. La question se pose, si le jeune épicéa arrivera à pousser des racines atteignant le sol sur lequel repose la pierre.

4° L'assemblée s'accorde au sujet des modifications à apporter à la rédaction de l'avis formulé par la commission instituée ad hoc et se rapportant au projet de loi concernant la protection de la faune et de la flore du Grand-Duché de Luxembourg. (Thilmany).

5° A cause de l'heure avancée, MM. Edm. Knaff, Edm. J. Klein et Alph. Willems remettent leurs communications à une date ultérieure.

Le secrétaire: F. HEUERTZ.

La théorie des grains de radiation ou photons et sa vérification expérimentale par l'effet Compton

par **Albert GLODEN.**

Dans un mémoire fondamental paru en 1900, Planck a posé les bases de la théorie des quanta. D'après cette théorie, les échanges d'énergie rayonnante, dans l'émission et dans l'absorption, se font toujours par multiples entiers d'une quantité d'énergie élémentaire. La grandeur de celle-ci est proportionnelle à la fré-

quence de la radiation qu'on désigne par N. Si ε représente la quantité d'énergie élémentaire, on a

$$\varepsilon = h \times N,$$

h désignant une constante universelle appelée constane de Planck.

L'hypothèse de Planck, qui devait paraître révolutionnaire à une époque où les physiciens avaient la conviction qu'il était possible de réunir en une magnifique synthèse la totalité des phénomènes grâce à la théorie électromagnétique, s'est révélée excessivement féconde dans la suite, et indispensable tout d'abord pour l'explication des faits du rayonnement. Poincaré et Jeans ont même démontré que l'hypothèse de Planck était la seule manière possible de concilier la théorie avec les faits expérimentaux du rayonnement.

Planck a donc postulé la discontinuité dans l'émission et dans l'absorption de l'énergie radiante. Einstein, en 1905, a poussé cette conception à une forme extrême en attribuant à l'énergie rayonnante une véritable structure granulaire, comme elle est démontrée pour la matière et pour l'électricité. Les grains de matière sont nommés atomes, les grains d'électricité électrons; les grains de radiation sont appelés photons.

Ces photons sont considérés comme de véritables projectiles doués de propriétés matérielles. On leur attribue notamment une quantité de mouvement qui pour un corpuscule matériel s'exprime par le produit de sa masse par sa vitesse.

Ainsi un rayon lumineux aurait une quantité de mouvement, tout comme une pierre lancée! Ceci ne saurait surprendre ceux qui se sont familiarisés avec la Mécanique ondulatoire de de Broglie. D'après cette théorie les grains de matière peuvent manifester des propriétés ondulatoires; il n'est pas plus surprenant qu'une onde d'éther puisse manifester des propriétés matérielles.

Toutes les vibrations d'éther doivent être conçues comme ayant une nature corpusculaire, à travers toute la gamme des fréquences. Il y a ainsi, dans l'échelle des fréquences croissantes, des grains d'énergie électromagnétique, infra-rouge, lumineuse, ultra-violette, de rayons X, de rayons γ, et de rayons ultra-pénétrants comme le sont les rayons cosmiques étudiés surtout par Kohlhörster et Millikan. Nous caractériserons dans la théorie quantique chaque radiation par sa fréquence plutôt que par sa longueur d'onde, comme la fréquence entre directement dans l'expression de la quantité d'énergie élémentaire. ($\varepsilon = hN$).

Est-ce à dire qu'avec la conception des photons nous sommes revenus à l'hypothèse newtonienne de l'émission de la lumière? Ne parle-t-on pas d'une véritable émission de corpuscules? Oui, mais une différence fondamentale s'introduit; c'est l'hypothèse sur la discontinuité de l'énergie. Dans la théorie des photons chaque grain est un effet porteur d'une quantité d'énergie élémentaire et non pas d'une quantité quelconque d'énergie.

Les vérifications expérimentales pour l'hypothèse d'Einstein sur les photons sont principalement fournies par l'effet photo-électrique et l'effet Compton.

Nous ne ferons qu'indiquer ici que l'hypothèse des photons est nécessaire pour expliquer une particularité de l'émission photo-électrique. On sait que ce phénomène consiste dans l'expulsion d'électrons de la couche superficielle d'un corps solide quand celle-ci est frappée par un rayonnement de fréquence suffisamment élevée. L'extraction des électrons s'opère déjà sous l'influence de la lumière visible, mais plus facilement par la lumière ultra-violette, les rayons X et les rayons γ.

Or, on a constaté que l'effet photo-électrique se produit toujours instantanément, même avec une très faible énergie. Pour expliquer cela il faut admettre que l'énergie radiante n'est pas distribuée uniformément sur le front d'une onde, mais portée par de véritables projectiles, les photons, susceptibles d'intéresser un seul atome, justement celui dont un électron sera extrait.

La découverte de l'effet Compton en 1923 a fait triompher définitivement l'hypothèse des photons. Nous allons montrer dans ce qui suit l'importance de la conception des photons dans l'explication de l'effet Compton.

Cet effet se rapporte à la diffusion des rayons X dans la matière. On nomme en général diffusion l'éparpillement de l'énergie rayonnante dans toutes les directions autour d'une direction primitive. (fig. 1.)

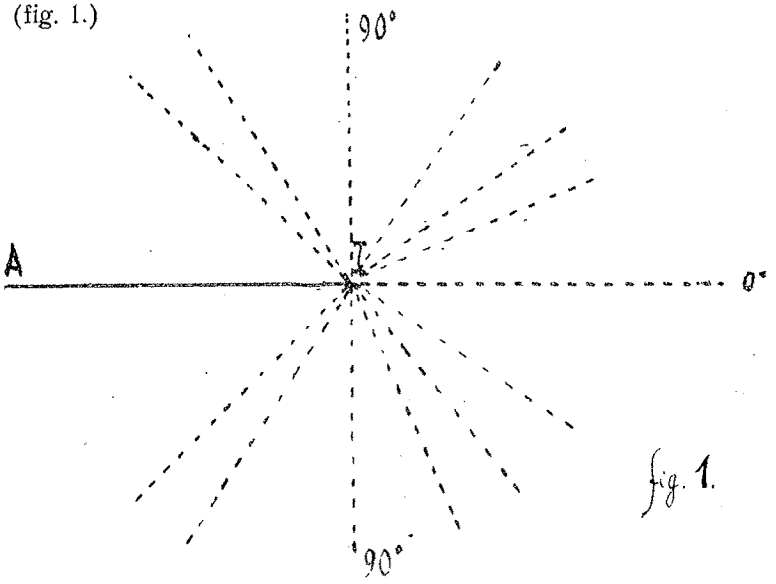


fig. 1.

On connaît bien la diffusion de la lumière par des grains de poussière ou des molécules gazeuses. Des grains de poussière

éclairés par la lumière du soleil la renvoient dans toutes les directions, et sont ainsi rendus visibles. La couleur bleue du ciel s'explique par la diffusion de la lumière solaire par les molécules de l'atmosphère, la lumière bleue étant diffusée en plus forte proportion que les autres composants de la lumière blanche.

Si la diffusion de la lumière se produit dans les conditions indiquées, l'énergie diffusée à la même fréquence que l'énergie incidente. Mais dans la diffusion des rayons X par la matière, ou plus exactement par les électrons des atomes, le rayonnement diffusé a une fréquence différente du rayonnement incident. C'est cette particularité découverte par Compton dans la diffusion des rayons X qui porte son nom.

C'est d'ailleurs toujours une diminution de fréquence qui intervient pour les rayons X diffusés. Nous allons indiquer quelques valeurs expérimentales obtenues par Compton lui-même. En étudiant une radiation bien déterminée du molybdène, la radiation appelée K α diffusée par un radiateur en graphite, il observa dans le prolongement de la direction d'incidence un rayonnement de même fréquence que le rayonnement incident, et un rayonnement de fréquence inférieure dans les autres directions. La fréquence change d'ailleurs constamment avec la direction du rayonnement diffusé.

Soit A I (fig. 1) le rayonnement X incident monochromatique de fréquence $0{,}423.10^{19}$. Les traits pointillés représentent les rayons diffusés. Compton a observé par exemple à 90° de la direction d'incidence des rayons X de fréquence $0{,}410.10^{19}$. La différence est donc $0{,}013.10^{19}$. Ceci signifie que les rayons diffusés sont moins durs ou moins pénétrants que les rayons initiaux.

La théorie électromagnétique classique ne permet pas de prévoir ce changement de fréquence des rayons diffusés. La théorie quantique avec la conception des photons explique le phénomène, et est aussi en bon accord numérique avec les résultats de l'expérience. Cette théorie a été donnée indépendamment par Compton et Debye en 1923.

Rappelons-nous qu'il faut considérer les grains de radiation comme des projectiles doués d'une certaine quantité de mouvement, et considérons, pour avoir une image approchée de ce qui se passe dans l'effet Compton, le choc de deux billes parfaitement élastiques dont nous supposerons l'une au repos. Dans l'hypothèse du choc élastique il n'y aura d'après les théorèmes de la Mécanique rationnelle aucune perte de force vive du système après le choc. En plus la quantité de mouvement du système se conserve. [1])

Or, comment se produit la diffusion des rayons X par la matière? C'est par le choc des rayons X, nous dirons des quanta de radiation, contre les électrons des atomes constituant le radiateur diffusant.

[1]) Appell, Précis de Mécanique Rationnelle, page 475.

Appliquons les théorèmes de la mécanique newtonienne au choc «quantum de radiation contre électron» en exprimant la conservation de la force vive ainsi que de la quantité de mouvement du système.

Sans développer les calculs nous nous bornerons à indiquer les résultats capitaux auxquels on aboutit de cette manière:

I. Le rayonnement diffusé aura une fréquence différente du rayonnement incident, et plus faible. C'est l'effet Compton expliqué.

II. L'électron frappé par le rayonnement incident éprouvera un recul. C'est là un nouveau fait à la découverte duquel a conduit l'application de la théorie quantique à l'explication de l'effet Compton. L'électron ainsi déplacé par un quantum de radiation s'appelle électron de recul (Rückstoßelektron.)

On peut d'ailleurs se rendre compte d'une façon élémentaire de ces résultats. L'énergie totale d'un photon incident est exprimée par le produit h N. Le photon abandonne par suite du choc avec l'électron, une partie de son énergie à celui-ci; l'électron la capte sous forme d'énergie cinétique, c'est-à-dire prend de la vitesse. Il reste donc pour le photon diffusé une énergie inférieure à h N. Cela doit se traduire par une diminution de fréquence.

Le fait qu'un quantum de rayonnement repousse un électron semble étrange du premier abord, mais tout-à-fait plausible si l'on conçoit les rayons X comme de vrais projectiles. Nous avons d'ailleurs dans la pression de radiation un exemple où la lumière nous apparaît comme douée de propriétés mécaniques. On sait en effet que tout corps, frappé par des radiations, éprouve un recul comme s'il subissait un bombardement matériel. Les expériences de Lebedew, Nichols, et surtout celles de Poynting ont mis hors de doute l'existence des forces de pression de Maxwell-Bartoli.

Pour que la théorie quantique corpusculaire du rayonnement ait de la valeur, il faut que l'expérience mette en évidence cette répulsion d'électrons. C'est ce qui a été réalisé par C. T. R. Wilson et par Bothe. Wilson a utilisé une méthode générale de décèlement des électrons, savoir la méthode de condensation. Rappelons que dans cette méthode les ions produits dans une masse gazeuse d'une manière quelconque provoquent la condensation de la vapeur d'eau sursaturée et peuvent être ainsi repérés. Grâce à cette méthode l'existence des électrons de recul est aujourd'hui démontrée.

La théorie quantique granulaire permet encore de calculer la vitesse des électrons de recul. Ce sont des électrons relativement lents comparés par exemple aux photo-électrons, c'est-à-dire à ceux expulsés de la région superficielle d'un corps dans l'effet photo-électrique.

Grâce à la théorie de Compton et Debye on peut calculer la direction de l'électron de recul si on considère une direction déterminée du rayonnement diffusé. A chaque direction de la radiation

diffusée la théorie fait correspondre une direction bien définie suivie par l'électron de recul. La fig. 2 montre en A I le rayonne-

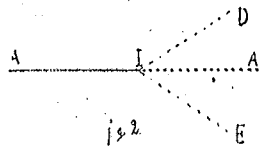


fig 2

ment incident, en I D le rayonnement diffusé dans cette direction, et en I E la marche suivie par l'électron de recul associé à la direction I D.

Les expériences faites par Compton et Simon en 1925 ont vérifié la relation donnée par la théorie entre la direction du rayonnement diffusé et de l'électron de recul correspondant. Nous indiquerons le principe de ces expériences: En utilisant l'appareil de Wilson pour la méthode de condensation on cherche à photographier simultanément la trace fournie par l'électron de recul et celle donnée par un photo-électron que le rayonnement diffusé peut extraire d'un atome du gaz qu'il rencontre sur son parcours. Il est alors possible de mesurer directement sur les clichés les 2 angles qui fixent la direction de l'électron de recul et du rayon diffusé.

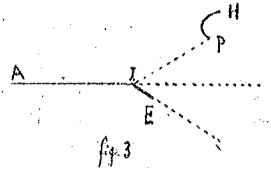


fig 3

La fig. 3 montre l'aspect général d'un cliché. A I est le rayonnement X incident, I E le trajet de l'électron de recul et P H celui du photo-électron qui fait connaître celui du quantum diffusé. Les trajectoires des électrons de recul sont très courtes et inclinées sur la direction du rayonnement incident, ce qui permet de les reconnaître.

En résumé, un grand nombre de faits expérimentaux constatés pour l'effet Compton s'expliquent qualitativement, et assez bien quantitativement, en faisant l'hypothèse que le rayonnement a une structure particulaire et quantique. L'effet Compton constitue certainement la plus belle preuve en faveur de la réalité des photons.

D'autre part, des expériences récentes de Kirchner avec des rayons X polarisés semblent ne pas pouvoir s'expliquer dans l'hypothèse simple que nous avons indiquée. Et l'effet Compton en prendra plus d'importance, car il est possible que l'interprétation statistique des phénomènes, qui est depuis quelques années prépondérante en physique atomique, donne la solution des difficultés. La nouvelle mécanique dite statistique appliquée aux phénomènes atomiques constitue aujourd'hui le cadre où il semble possible de ranger avec le plus d'harmonie tous les phénomènes physiques

connus. Et l'effet Compton contribuera sans doute à l'extension de ce cadre magnifique.

Littérature.

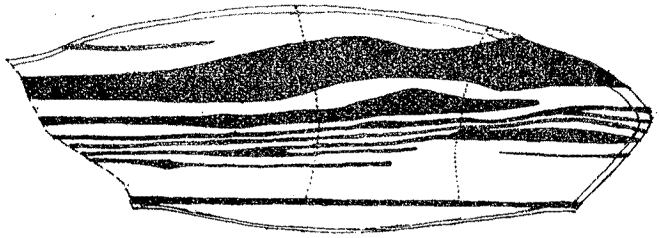
I. Les quanta, Georges Déjardin, 1930.
II. L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta, Eugène Bloch, 1930.
III. Die physikalischen Prinzipien der Quantentheorie, Dr. W. Heisenberg, 1930.
IV. A. H. Compton, Phys. Review, 22, p. 409, 1923.
V. A. H. Compton et A. Simon, Phys. Review, 25, p. 306, 1925.

Vorläufige Notizen über einige Geoden von Differdingen.

Von **P. Schiltz**, Ing. Chem., Differdingen.

Die in Fig. 1 dargestellte Geode befand sich neben vielen andern in unregelmäßiger Verteilung im Hangenden des Posidonienschiefers.

Fig. 1.



Es gelang dieselbe nach A B zu teilen. Die Bruchstelle ist maßstäblich in Fig. 2 wiedergegeben.

Diese Geode setzt sich nach folgender Analyse zusammen, wie folgt:

Glühv. (CO_2 + org. Subst.) . . .	40.00
Unlösl. in HCl + Br.	4.60
Fe O	1.00
P_2O_5	0.02
Ca O	48.80
Mg O	1.59

Es handelt sich folglich um eine reine Kalkgeode, in welcher mehr oder weniger horizontal gelagert Fossilienbänkchen mit hellgrauem, äußerst feinkörnigem Kalk abwechseln. Die graue Farbe des Kalkes ist jedenfalls eine Folge der vorhandenen organischen Substanz.

Diese Kalkgeode zeigt, wie Fig. 2 angibt, nur zwei kaum $^1/_{10}$ mm breite Spalten auf, während die Mehrzahl der 20 durchgeschla-