

VUE D'ENSEMBLE SUR L'HISTOIRE ET L'INTERPRÉTATION DE LA MÉCANIQUE ONDULATOIRE

PAR LOUIS DE BROGLIE
DE L'ACADÉMIE FRANÇAISE
DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES
PRIX NOBEL DE PHYSIQUE



APPARITION DES QUANTA ET DE LA MÉCANIQUE ONDULATOIRE

EN 1900, Max Planck introduit les quanta dans la Physique pour rendre compte des lois du Rayonnement noir. Il admet que les atomes d'un corps incandescent émettent l'énergie radiante de fréquence ν sous forme de quanta $h\nu$ (où h est la célèbre constante de Planck), mais il recule devant la conséquence que l'énergie du rayonnement émis contient des concentrations d'énergie de valeur $h\nu$. En 1905, Albert Einstein admet cette constitution granulaire de l'énergie radiante et, introduisant ainsi ce que nous nommons aujourd'hui les « photons », il explique l'existence de l'effet photoélectrique jusque-là restée mystérieuse, puis celle d'autres phénomènes comme les fluctuations d'énergie dans le Rayonnement noir.

Quelle était alors la conception d'Einstein au sujet de cette structure granulaire de l'énergie radiante transportée par une onde électromagnétique ? Il admettait, semble-t-il, que l'onde électromagnétique des théories classiques de Maxwell et de Lorentz était une sorte d'onde « fantôme » de très faible énergie dont le rôle essentiel était de « guider » le mouvement de grosses concentrations d'énergie constituée par les photons.

En 1913, Niels Bohr développe sa théorie quantique de l'atome qui a permis de comprendre un grand nombre de phénomènes physiques jusque-là inexplicables, comme par exemple la structure complexe des spectres optiques et des spectres de Rayons X. Un des points remarquables

de cette théorie était que le mouvement des électrons dans l'atome était soumis à des conditions de quantification où interviennent des nombres entiers et cette circonstance qui se présente constamment en théorie des ondes dans l'étude des interférences et des ondes stationnaires m'avait beaucoup frappé.

Attiré dès l'âge de 19 ans par le problème que posait l'intervention inattendue des Quanta en Physique, je n'ai pu poursuivre mes réflexions sur ce sujet qu'après la fin de la guerre de 1914, et convaincu que l'intervention des nombres entiers dans la théorie de l'atome de Bohr indiquait l'existence d'une onde associée au mouvement des électrons, je suis parvenu dans l'automne de 1923, après quelques travaux préliminaires, à poser les bases d'une théorie générale nouvelle, la Mécanique ondulatoire, qui fit ensuite l'objet de ma Thèse de Doctorat (1924). L'idée essentielle en fut d'étendre à toutes les particules, et notamment aux électrons, la coexistence des ondes et des particules découverte par Einstein dans le cas de la lumière. Ce qui m'a permis d'aboutir à cette synthèse, c'est la grande connaissance que j'avais acquise de la théorie de la Relativité due également à Einstein et dont j'avais approfondi les principes, notamment en suivant les beaux cours de Paul Langevin au Collège de France. Le point de départ de mes réflexions, complètement méconnu à l'heure actuelle, fut de remarquer la différence qui existe entre la transformation relativiste de la fréquence d'une onde et celle de la fréquence d'une horloge. Reprenant l'image d'une onde qui guide le mouvement d'une grosse concentration d'énergie constituant la particule, je supposai que la particule analogue à une horloge possède une vibration périodique interne et, qu'incorporée dans l'onde, elle se déplace dans cette onde de façon à rester constamment en phase avec elle. Cette idée m'avait amené par un calcul simple à attribuer à la particule un mouvement défini

par la propagation de l'onde et à en conclure qu'une particule transportée par une onde plane monochromatique de longueur d'onde λ possède une quantité de mouvement :

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Ces idées m'ont conduit à interpréter le mouvement des électrons dans l'atome de Bohr, d'une façon qui s'est montrée n'être qu'approximativement valable, mais qui cependant indiquait que j'étais dans la bonne voie, et aussi à trouver un certain nombre d'autres résultats satisfaisants.

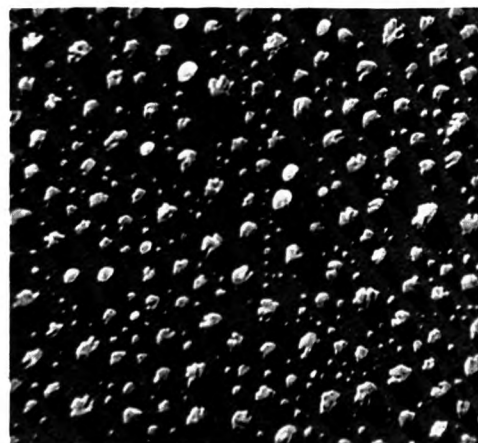
Mon travail ne tarda pas à être remarqué. Dès janvier 1925, dans une Note aux Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Berlin, Einstein attirait l'attention sur l'importance de ma Thèse et au printemps de 1926, Schrödinger écrivait explicitement l'équation de propagation de l'onde associée à l'électron, rendait ainsi plus rigoureuse l'application de mes idées à l'atome de Bohr et l'étendait à un certain nombre d'autres problèmes.

Mais, ainsi que je le dirai plus loin, les très beaux travaux de Schrödinger ont contribué à faire abandonner les idées qui m'avaient guidé et sans doute à fausser ainsi toute l'interprétation de la Mécanique ondulatoire. Dès la soutenance de ma Thèse, j'avais signalé, en réponse à une question de Jean Perrin, que si mes idées étaient exactes, l'on devait pouvoir obtenir avec des électrons des phénomènes analogues à la diffraction et aux interférences de la lumière.

Au début de 1927, deux physiciens américains Davisson et Germer travaillant au laboratoire Bell de New York ont découvert le phénomène de la diffraction des électrons par les cristaux et ont pu vérifier la formule :

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

G.-P. Thomson en Angleterre obtint bientôt des résultats analogues par une autre méthode et Maurice Ponte



Microscopie électronique d'un dépôt de fumée de chlorure d'ammonium avec ombrage à l'or (G 8 000).

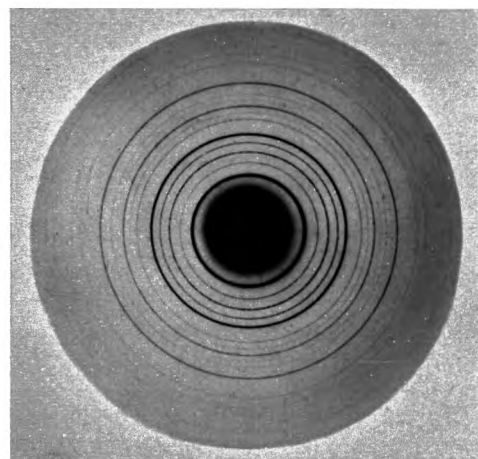
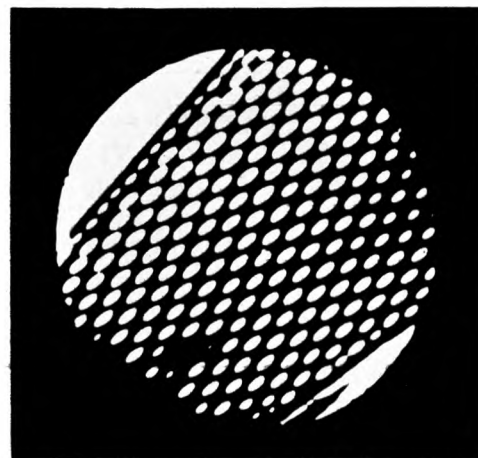


Diagramme de diffraction électronique du dépôt précédent. Les cristaux cubiques sont disposés au hasard.



Vue au microscope électronique, cette coquille de diatomées révèle des petits trous jusqu'ici invisibles.

en France étendit les résultats obtenus aux électrons de très grande vitesse. Ensuite on a pu obtenir des phénomènes de diffraction avec d'autres particules (protons, neutrons...) et plus récemment d'habiles expérimentateurs, tels que Möllensted et Faget, ont pu répéter avec des électrons toutes les expériences d'interférences depuis longtemps classiques en Optique. La diffraction des électrons a aujourd'hui

d'innombrables applications scientifiques ou techniques dans l'étude des structures de la matière.

La Microscopie électronique, dont les principes ont découlé des conceptions de la Mécanique ondulatoire, permet aujourd'hui d'obtenir d'un objet ayant un micron de longueur une image longue de 10 centimètres et ces prodigieux grossissements ont, eux aussi, de très nombreuses applications,

notamment en Biologie et en Microbiologie. Or, au moment de ma Thèse, uniquement préoccupé de préciser la coexistence des ondes et des particules, je n'avais ni prévu, ni recherché de telles applications. Et cela prouve, chose qu'il convient de ne jamais oublier, que les recherches les plus désintéressées de la science pure peuvent avoir très rapidement de très vastes applications dans le domaine pratique.

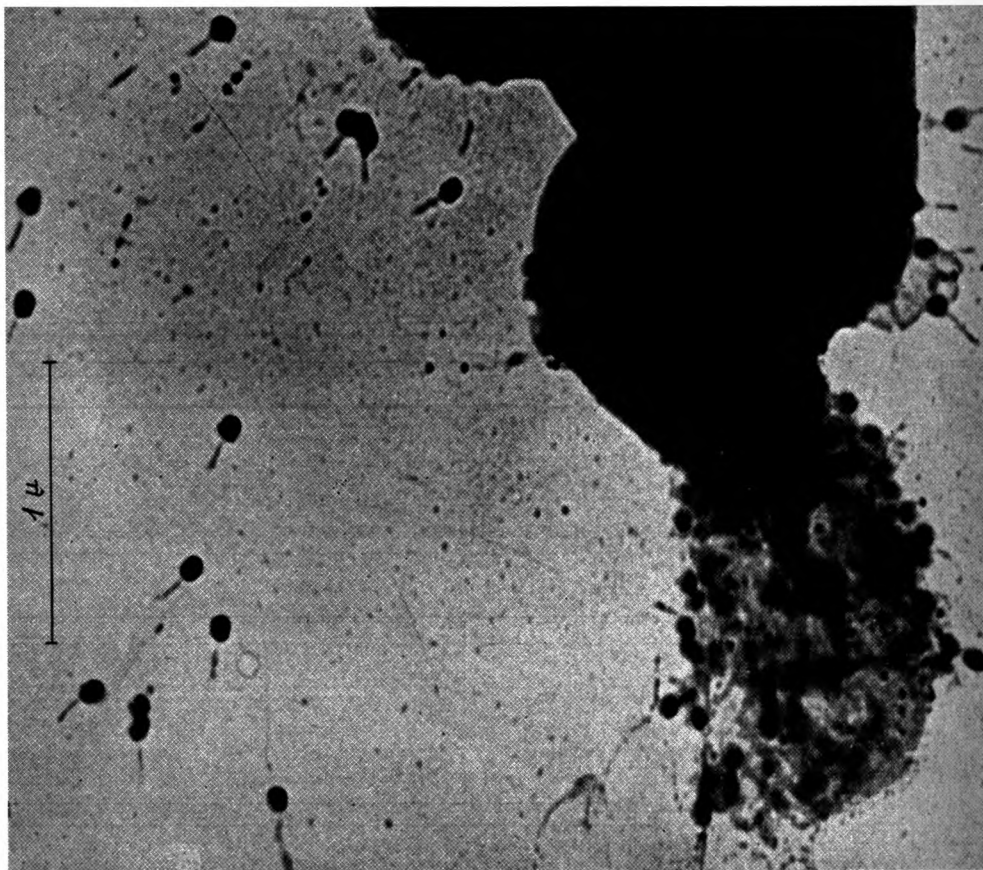
LA CRISE DE L'INTERPRÉTATION DE LA MÉCANIQUE ONDULATOIRE 1926-1927

Pendant les années 1926-1927, l'évolution des idées concernant la Mécanique ondulatoire a pris une tournure qui m'a très vite beaucoup inquiété. En effet, dans les travaux mentionnés plus haut, Schrödinger avait désigné l'onde associée à l'électron, dont il empruntait la conception à mes travaux, par le nom d'onde Ψ ; mais il considérait cette onde, à laquelle il désirait garder un caractère de réalité physique, comme une solution sans singularité des équations de propagation dont il venait de préciser la forme. Or, une telle onde régulière ne comporte aucun élément qui puisse représenter une particule localisée et l'on perdait ainsi la notion même d'une particule incorporée dans l'onde. Peu après, en 1927, Max Born a interprété la fonction d'onde Ψ de Schrödinger comme une simple représentation de probabilité dont l'amplitude doit pour cette raison être normée à l'unité. Mais imposer à une onde une amplitude arbitrairement déterminée, c'est évidemment lui enlever le caractère d'une véritable onde physique. On arrivait ainsi à la conclusion paradoxale que la Mécanique ondulatoire, fondée sur l'idée d'une coexistence physique des ondes et des particules par généralisation à toutes les particules de la théorie des photons d'Einstein aboutissait à une théorie qui avait perdu à la fois la notion de particule, petit objet bien localisé à

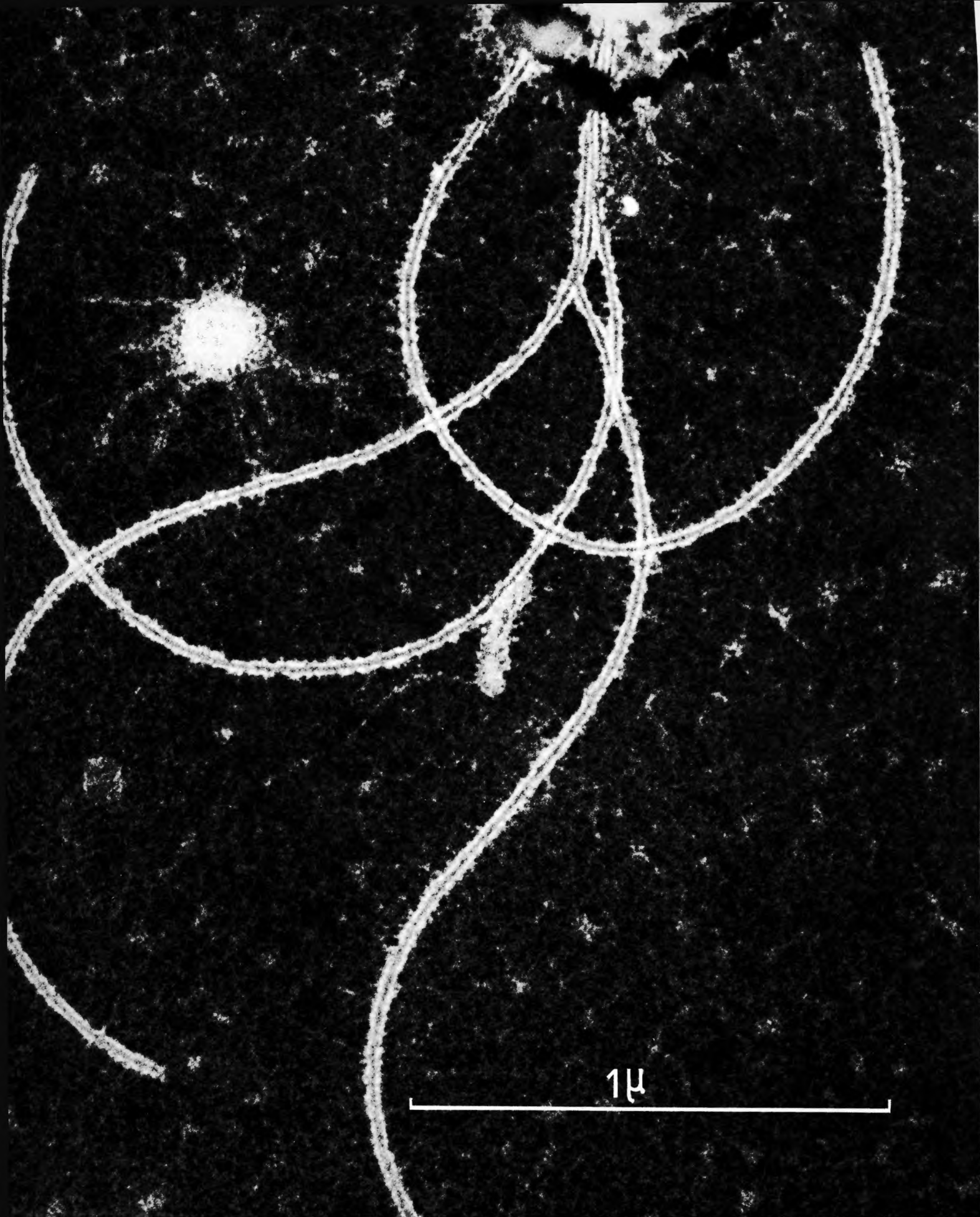
chaque instant, et la notion d'onde, phénomène physique se propageant dans l'espace au cours du temps.

Choqué par ce renversement complet

de mes intuitions initiales, j'ai réagi et j'ai cherché à préciser mes idées primitives en développant dans un article du « Journal de Physique » de



Les bactéries ont aussi leurs parasites ! Avec un grossissement de 30 000, ce cliché extraordinaire révèle l'attaque et la destruction déjà commencée d'une bactérie de la dysenterie par une horde de bactériophages.



Le monde fantastique et parfois inquiétant des bactéries dévoile peu à peu ses secrets à travers l'objectif de la microscopie électronique. Ce document saisissant, choisi à titre d'exemple, confirme l'existence d'un appareil flagellaire abondant et complexe qui permet aux bactéries mobiles de se déplacer dans le milieu propice à leur existence.

juin 1927 ce que j'ai appelé « la théorie de la double solution ». L'idée essentielle de cette théorie était de distinguer deux solutions mathématiquement intimement liées l'une à l'autre dont l'une, l'onde physique ψ , comporterait une concentration d'énergie assimilable à une singularité qui constituerait la particule tandis que l'autre l'onde Ψ sans singularité et arbitrairement normée, n'aurait qu'une signification statistique. Cette distinction subtile permettait de conserver l'idée de la coexistence physique de l'onde et de la particule tout en justifiant l'emploi de l'onde Ψ comme moyen de prévisions statistiques. L'idée que la particule constitue une sorte de singularité mobile de l'onde ψ m'avait alors conduit à lui attribuer un mouvement défini en fonction de la propagation de l'onde par une certaine « loi de guidage » faisant intervenir l'action sur la particule d'une certaine « force quantique » de nature nouvelle. Or, cette loi de guidage permettait de prévoir, en accord avec les idées de Max Born, que la probabilité de la présence de la particule en un point de l'espace doit être donnée par

le carré de l'amplitude de l'onde Ψ . Tous ces résultats me paraissaient encourageants.

C'est alors que je fus amené à participer au Conseil Solvay de Physique tenu à Bruxelles en octobre 1927 qui devait étudier la nouvelle Mécanique, j'y exposai, d'ailleurs assez mal, ma théorie du guidage, mais je me heurtai à une forte opposition. Niels Bohr, Max Born et leurs jeunes collaborateurs de l'Ecole de Copenhague (Pauli, Heisenberg, Dirac) contestèrent mes idées et développèrent, en adoptant les conceptions assez floues de la théorie de la Complémentarité de Bohr, les calculs très précis de ce que l'on a désormais appelé « la Mécanique quantique », théorie où la fonction Ψ est seule utilisée et où on la considère comme un simple instrument de calcul mathématique.

Cependant, au cours de la discussion, Einstein fit une courte intervention pour m'encourager dans la voie où je voulais m'engager, intervention sur laquelle je reviendrai plus loin.

Dans les années qui suivirent, la Mécanique quantique sous la forme abstraite qu'on lui avait donnée a pu,

bientôt complétée par l'introduction du spin en théorie de Dirac, obtenir un très grand nombre de prévisions exactes et rendre ainsi à la Physique théorique de remarquables et incontestables services. La plupart des théoriciens s'y sont ralliés bien qu'Einstein et même Schrödinger aient continué à signaler les inquiétants paradoxes auxquels selon eux elle conduisait. En présence des succès remportés par les formalismes de la Mécanique quantique, j'ai abandonné, à tort sans doute, ma tentative d'interprétation de la Mécanique ondulatoire dont le développement mathématique m'apparaissait comme très difficile. Appelé à ce moment à assurer des enseignements, j'ai dès lors exposé la Mécanique quantique et ses applications à la manière qui était devenu « orthodoxe » et dans des livres de vulgarisation j'ai exposé certaines des idées de l'Ecole de Copenhague.

Cependant, peu disposé à l'abstraction, j'ai toujours présenté les questions que j'enseignais d'une façon assez concrète, plus proche des conceptions de l'ancienne Physique que celles qu'employaient les autres théoriciens.

MON RETOUR A LA THÉORIE DE LA DOUBLE SOLUTION ET SES RAISONS

A partir de 1951, une réaction s'est produite dans mon esprit. J'étais rebuté par le caractère de plus en plus abstrait des formalismes orthodoxes et en particulier par ce que l'on nomme « la théorie quantique des champs ». J'ai repris alors l'examen des critiques faites par Einstein et par Schrödinger dénonçant certaines conséquences paradoxales des idées généralement admises et j'ai été frappé par la force de leurs objections. Je voudrais ici en signaler quelques-unes.

Voici d'abord l'objection développée par Einstein au Conseil Solvay de 1927 à laquelle j'ai fait allusion plus haut. Il considérait une onde transportant une particule qui tombe sur

un écran plan E percé d'un trou assez petit pour que l'onde après avoir passé par ce trou s'épanouisse en onde sphérique par un effet de diffraction. Derrière l'écran E se trouve placé un film hémisphérique F où l'arrivée d'une particule peut se manifester par un effet localisé tel qu'impression photographique, scintillation, etc. (voir figure 1 ci-contre).

Si à un certain instant la particule manifeste son arrivée au point M du film F, la probabilité de son arrivée en un point quelconque du film F autre que M, qui était donnée par le carré de l'amplitude de l'onde Ψ en ce point, devient instantanément nulle.

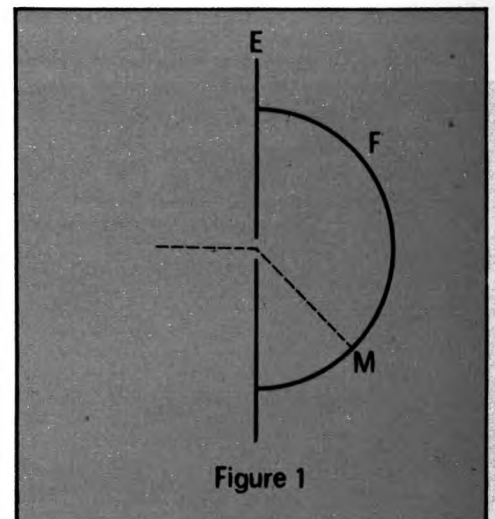
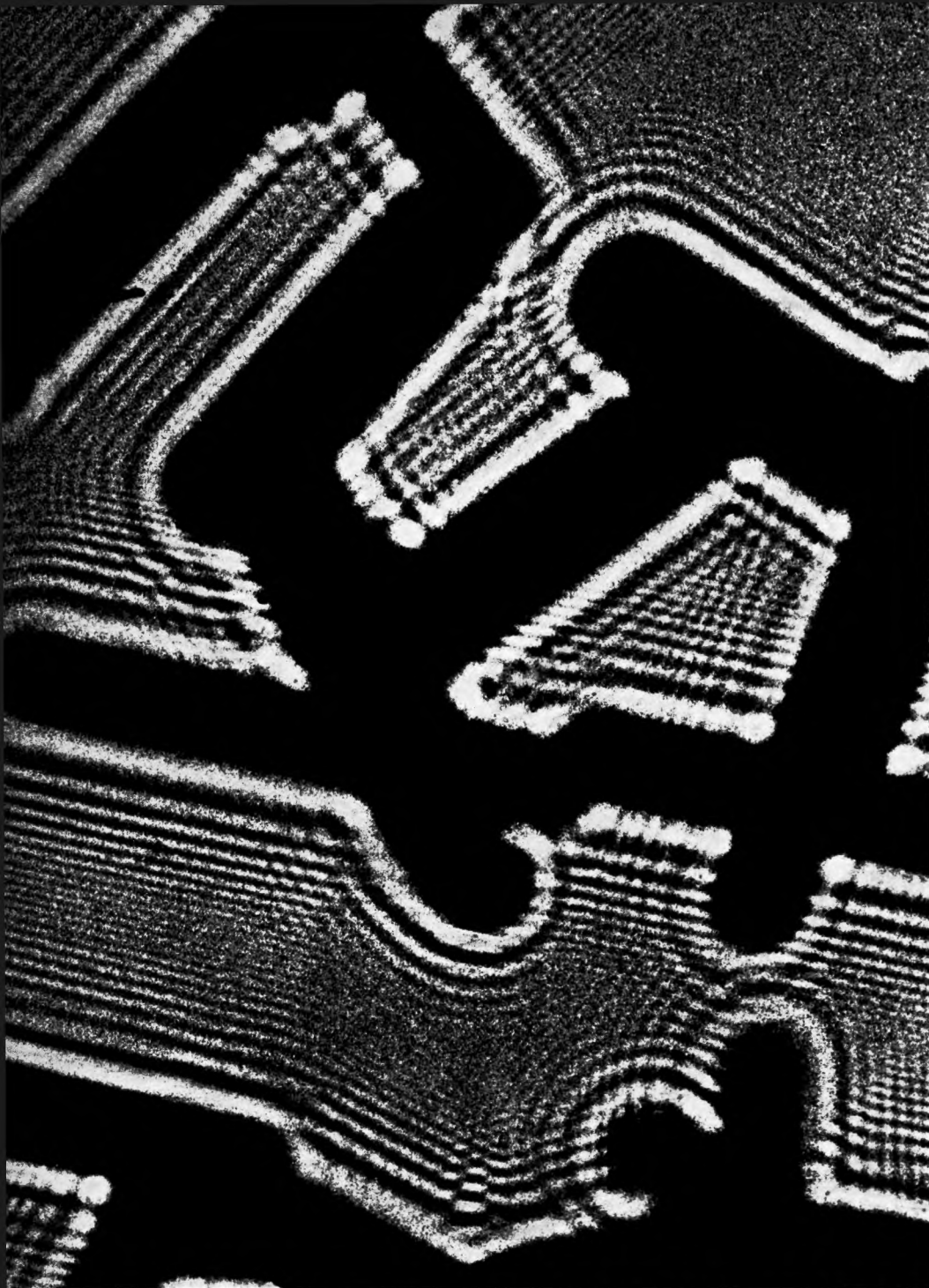
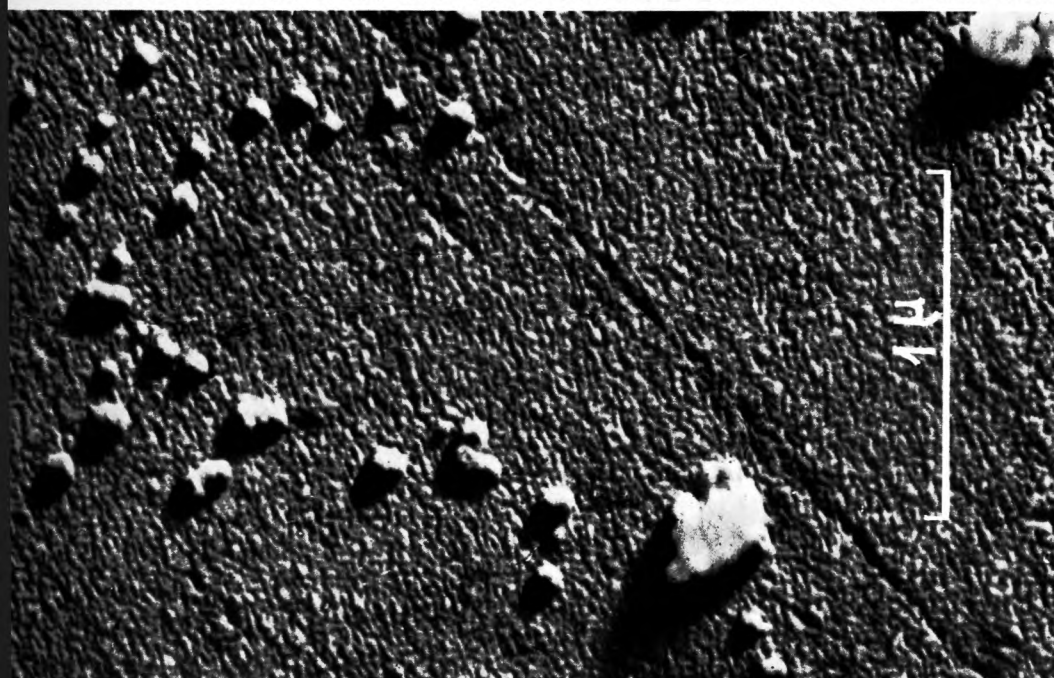


Figure 1



Ce cliché obtenu au microscope électronique montre des franges d'interférences identiques à celles de Fresnel.

Le procédé de l'ombrage, avec projection de molécules d'or, confère un relief accentué aux plus infimes détails



Einstein considérait cette conclusion comme physiquement inacceptable et d'ailleurs en contradiction avec la théorie de la Relativité car elle implique une sorte de transfert instantané d'information à distance. Il terminait son intervention en disant : « A mon avis, on ne peut lever cette objection que de cette façon qu'on ne décrive pas seulement le processus par l'onde de Schrödinger, mais qu'en même temps on localise la particule pendant la propagation » et, faisant allusion à la théorie de guidage que je venais d'exposer devant le Conseil, il terminait en disant : « Je crois que M. de Broglie a raison de chercher dans cette direction. » Je pense aujourd'hui que l'objection d'Einstein a gardé toute sa valeur et qu'elle n'a jamais été sérieusement réfutée.

Comme autre exemple, considérons maintenant l'interprétation par la théorie actuellement admise de l'expérience des trous d'Young depuis longtemps classique en optique et aujourd'hui réalisée avec des électrons. Une onde transportant une particule tombe normalement sur un écran plan E percé de deux trous voisins A et B suffisamment petits pour qu'à la sortie des trous l'onde s'épanouisse par diffraction sous forme d'ondes sphériques qui viennent se superposer dans une région où l'on place un film F

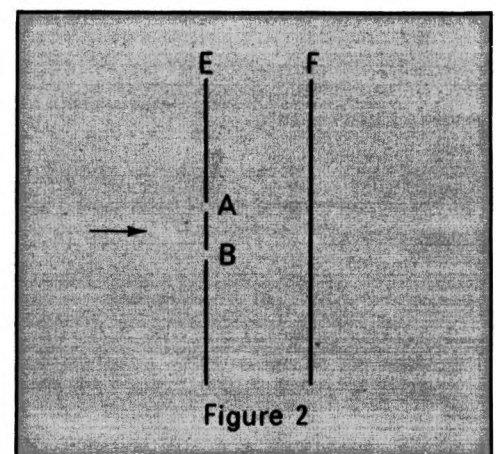


Figure 2

susceptible d'enregistrer l'arrivée d'une particule par un effet observable (voir figure 2).

La théorie des interférences permet de calculer la position sur le film F des régions (appelées en Optique franges brillantes ou franges obscures) où la particule a une plus ou moins grande probabilité de manifester sa présence. Si l'on admet que l'onde n'est qu'une représentation de probabilité, ce qui est vrai si l'on ne considère que l'onde Ψ usuellement utilisée, le seul fait de supposer que la particule passe par l'un des trous nous oblige à considérer l'onde comme nulle sur l'autre trou et alors il ne pourrait y avoir interférences entre une onde provenant du trou A et une onde provenant du trou B. Comme l'existence réelle des interférences ne fait aucun doute, on a été amené à affirmer que la particule passe à la fois par les trous A et B où elle est, nous dit-on, « potentiellement » présente. C'est là une conception qui paraît bien étrange, surtout si l'on se souvient que la seule définition claire d'une particule est d'être un petit objet bien localisé dans l'espace à chaque instant et transportant une forte concentration d'énergie.

En adoptant les idées de la double solution, on peut éviter une conclusion aussi paradoxale. En effet, on doit alors distinguer l'onde ν , phénomène physique réel dont la propagation guide le mouvement de la

particule, et l'onde Ψ qui est construite d'après la forme de l'onde ν , mais qui n'est qu'une onde fictive, simple représentation de probabilité. L'onde réelle ν passe par les deux trous d'Young et interfère dans la région où se trouve le film F. La particule, qui passe par l'un ou l'autre des deux trous A et B sans que nous sachions lequel, est guidée derrière l'écran par la superposition des deux ondes provenant des deux trous et il en résulte que la probabilité qu'elle a d'arriver en un point M du film en y produisant un effet observable est donnée par le carré de l'amplitude de l'onde fictive Ψ au point M. Ainsi se trouve écartée l'in vraisemblable affirmation que la particule passe à la fois par les deux trous A et B et c'est la distinction introduite par la théorie de la double solution entre les deux ondes ν et Ψ qui permet d'obtenir une image acceptable du phénomène.

Bien d'autres objections peuvent être faites aux affirmations de la théorie orthodoxe. On en trouvera d'autres exemples dans les ouvrages cités dans la Bibliographie. Je n'en signalerai plus qu'une. Einstein et ses collaborateurs, ainsi d'ailleurs que Schrödinger, ont montré que l'interprétation actuelle des formalismes quantiques conduit à prévoir certaines corrélations entre des mesures effectuées sur des systèmes entièrement séparés et éloignés dans l'espace. Ces corrélations

leur ont paru, à juste titre me semble-t-il, comme tout à fait inadmissibles. Je n'exposerai pas ici cette question qui est assez compliquée. Il me paraît certain que ces corrélations n'existent pas réellement et peut-être l'expérience pourra-t-elle prouver qu'il en est bien ainsi.

Naturellement, le fait de rejeter certaines conceptions de la Mécanique quantique actuelle n'empêche pas que les formalismes de cette théorie ont conduit souvent à des prévisions très exactes et très intéressantes. Comment cela est-il possible? C'est parce qu'une théorie statistique peut être exacte dans ses prévisions et par suite très utile sans pour cela fournir une image exacte de la réalité. Par exemple, considérons une table de mortalité qui, pour une région donnée et une époque donnée, nous indique l'espérance de vie qu'ont aux différents âges les habitants de cette région. Les indications de cette table peuvent être très exactes et être très utiles aux actuaires qui s'occupent d'assurances sur la vie ou de rentes viagères. Mais le décès des individus est dû à de multiples causes telles que maladies, accidents, vieillesse, etc. et de cela la table de mortalité ne nous fournit aucune représentation. Elle nous donne des renseignements exacts sur des faits observables, mais sans nous fournir aucune description détaillée de la véritable nature de ces faits.

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS DE LA RÉINTERPRÉTATION DE LA MÉCANIQUE ONDULATOIRE

J'ai dit plus haut qu'à partir de 1951 j'avais repris le développement de l'interprétation de la Mécanique ondulatoire par la théorie de la double solution. Mais, à cette époque, accablé d'occupations diverses, je n'ai pu avancer dans cette voie que très lentement et dans des conditions difficiles jusqu'au moment où, en 1962, ma mise à la retraite de l'Enseignement supé-

rieur m'a permis de consacrer plus de temps à ces difficiles recherches. Je suis parvenu à publier seul ou avec l'aide de quelques collaborateurs, en particulier M. Andrade e Silva, un grand nombre d'articles ou de notes ainsi que quelques ouvrages. Il m'est impossible de faire ici une étude complète des très nombreux problèmes que j'ai abordés et que j'ai

cherché à résoudre. Je dois donc me borner à renvoyer ceux de mes lecteurs qui voudraient les approfondir à la Bibliographie placée à la fin de cet article et je me bornerai à insister seulement sur deux points particuliers.

Il y a 40 ans, quand je venais de publier ma tentative de théorie de la double solution, on a sans doute pensé que

je m'étais trompé sur la nature de ce que j'avais découvert parce que je voulais considérer des solutions à singularités des équations de la Mécanique ondulatoire alors qu'il fallait se borner à considérer les solutions sans singularités de ces équations. A cette époque, cette opinion pouvait paraître exacte, mais dans ces dernières années, généralisant des calculs déjà effectués par M. Francis Fer dans sa Thèse de Doctorat, M. Mumm Thiounn a montré que toutes les équations d'ondes que l'on admet pour les particules du genre électron ou photon possèdent des singularités ponctuelles mobiles dont le mouvement au cours du temps est précisément celui qu'indique la théorie de la double solution. Certes, la représentation des particules par des singularités ponctuelles n'est qu'une approximation et il paraît certain que les particules possèdent une structure interne que cette approximation ne décrit pas. Mais les résultats que je viens d'indiquer montrent l'intérêt des solutions à singularités des équations d'ondes que la théorie de la double solution considère comme la véritable description de la coexistence des ondes et des particules dont les solutions sans singularités ne fournissent que l'aspect statistique.

Je voudrais encore insister sur un autre point. La théorie du guidage de la particule par son onde permet de comprendre, comme je l'ai dit plus haut, pourquoi la probabilité de la présence de la particule en un point à un certain instant est donnée par le carré de l'amplitude de la fonction Ψ normée. Mais, en réalité, la théorie du guidage ne suffit pas pour prouver rigoureusement ce fait bien établi et mes réflexions à ce sujet m'ont conduit à penser qu'il était nécessaire d'introduire l'hypothèse suivante : en plus du mouvement de guidage qui est imposé à la particule par la propagation de l'onde, la particule doit être aussi animée d'un mouvement aléatoire qui a pour effet de superposer au mouvement de guidage une

agitation analogue à un mouvement brownien. On est alors amené à penser que toute particule est en contact permanent avec une sorte de thermostat caché qui échange continuellement avec elle de l'énergie sous forme de chaleur. Développant cette idée qui avait déjà antérieurement traversé mon esprit, j'ai été amené à partir de 1960 à compléter ma Théorie de la double solution en y introduisant une « Thermodynamique cachée des particules ». Cela m'a conduit à une série de résultats qui m'ont paru très intéressants dont je ne veux indiquer que le suivant : « Le principe de moindre Action qui est à la base de la Mécanique classique ne serait qu'un aspect du second principe de la Thermodynamique. » Je ne puis insister davantage sur ces questions dont on trouvera des exposés plus étendus dans les publications consacrées à la Thermodynamique cachée des particules qui sont citées dans la bibliographie.

En conclusion, il me paraît aujourd'hui extrêmement probable que l'interprétation de la Mécanique ondulatoire par la théorie de la double solution et ses prolongements nous donnera un jour, après avoir été complétée et peut-être rectifiée sur certains points, la véritable représentation physique de la coexistence des ondes et des particules. Cela n'entraîne pas, je le répète, que les formalismes de la Mécanique quantique et de la Théorie quantique des champs n'aient pas leur domaine d'exactitude et de très utiles applications, mais je suis persuadé qu'Einstein avait raison quand il affirmait que ces formalismes ne nous fournissent que des images statistiques incomplètes et ne nous donnent pas la description réelle de cette mystérieuse coexistence des ondes et des particules dont la Mécanique ondulatoire a été la première à révéler l'importance et la généralité.

Louis de Broglie

PUBLICATIONS DE L'AUTEUR SUR LES SUJETS EXPOSÉS DANS CET ARTICLE

— Comptes rendus Académie des Sciences 1923, t. 177, p. 506, 548 et 630.

— Thèse de Doctorat Paris, Masson, 1924 (rééditée en 1963).

— Journal de Physique, 1927, série 6, n° 5, p. 225.

— Une interprétation causale et non linéaire de la Mécanique ondulatoire : la théorie de la double solution; Gauthier-Villars, Paris, 1956.

— La théorie de la Mesure en Mécanique ondulatoire; Gauthier-Villars, Paris, 1957.

— Journal de Physique, 1959, t. 20, p. 963.

— Etude critique des bases de l'interprétation usuelle de la Mécanique ondulatoire. Gauthier-Villars, Paris, 1963.

— Certitudes et incertitudes de la Science. Albin Michel, Paris, 1966.

— Ondes électromagnétiques et Photons, Gauthier-Villars, Paris, 1968.

— Comptes rendus Académie des Sciences (avec M. Andrade e Silva), 1969, t. 298, p. 1449.

— La Thermodynamique de la particule isolée (ou Thermodynamique cachée des particules), Gauthier-Villars, Paris, 1964.

— La Thermodynamique cachée des particules; Annales de l'Institut Henri-Poincaré, 1964, vol. 1, p. 1-19.

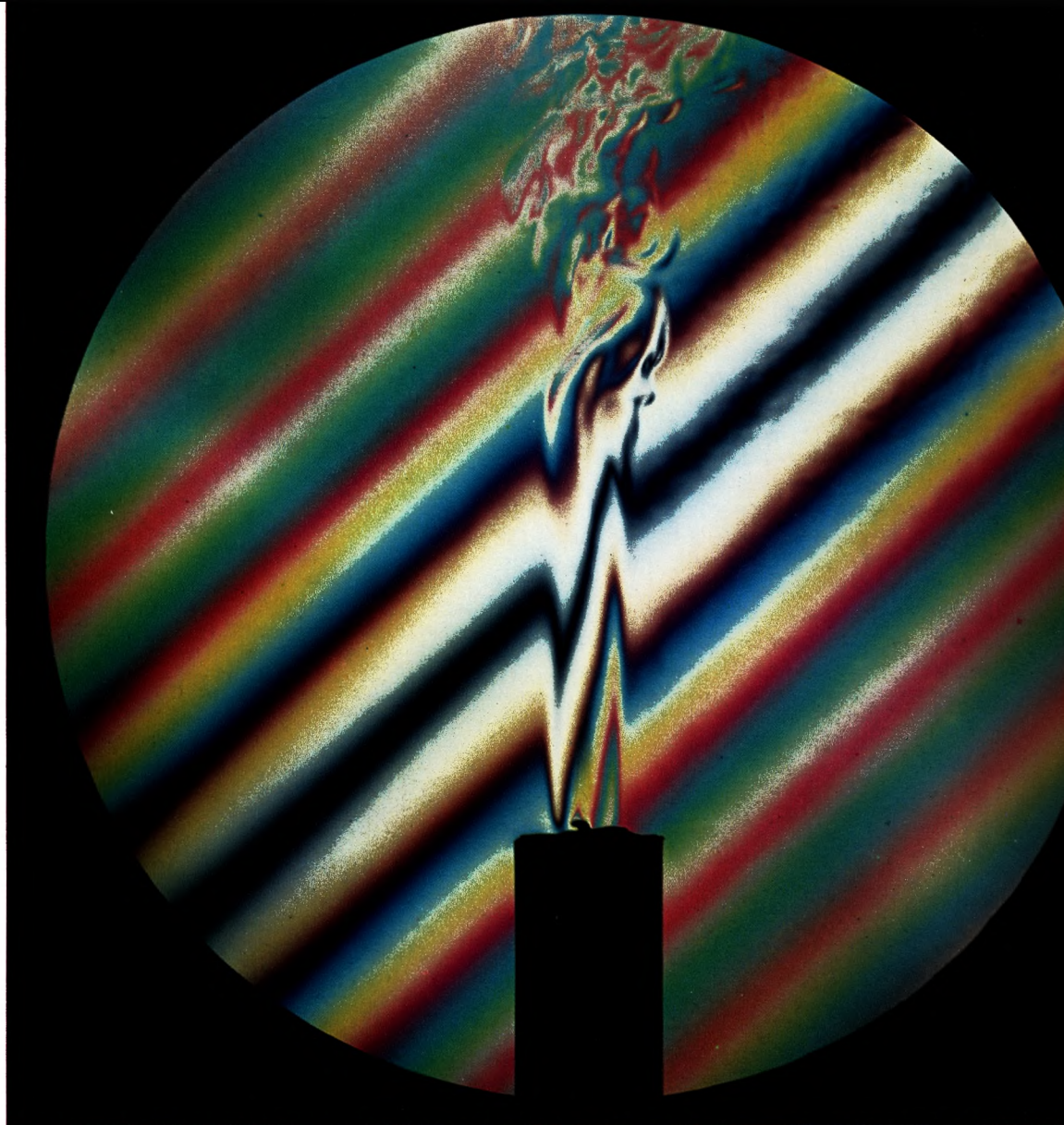
— Thermodynamique relativiste et Mécanique ondulatoire; Annales de l'Institut Henri-Poincaré, 1968, vol. IX, p. 89-108.

— J.-L. Andrade e Silva et G. Lochak, Quanta, Grains et Champs. Collection l'Univers des Connaissances; Paris, Hachette, 1969.

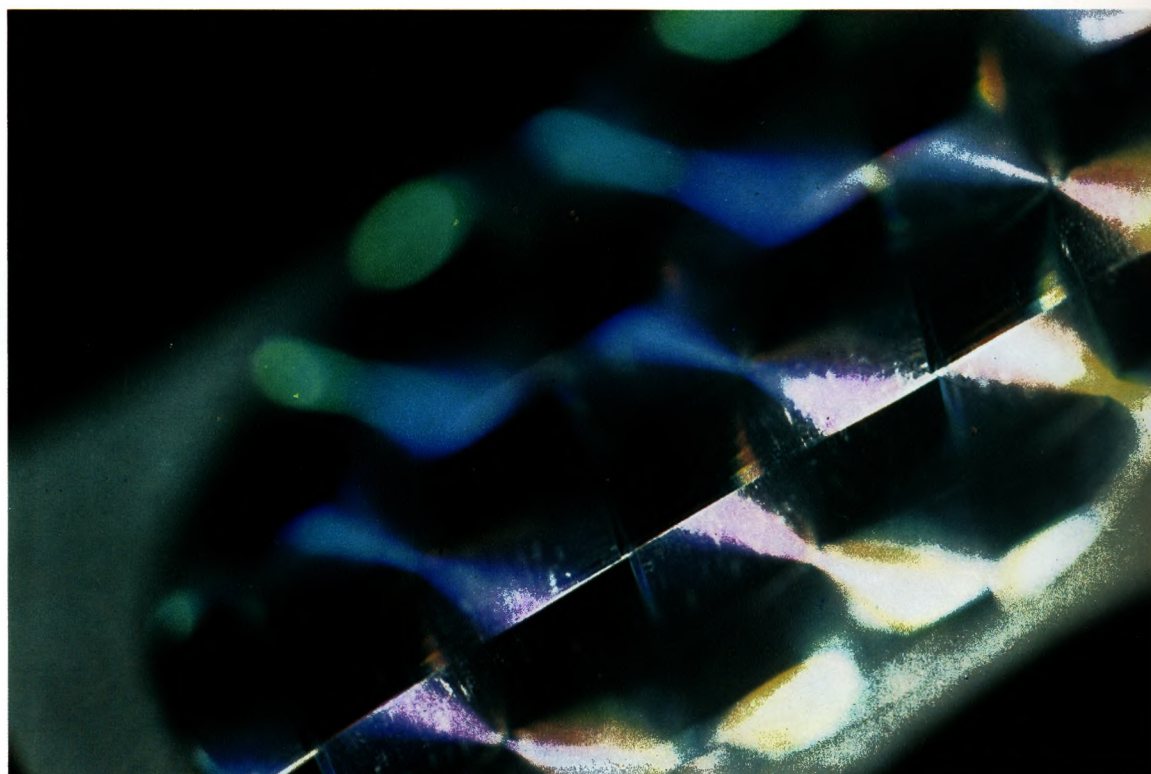
(Documents : Louis de Broglie, Françon-Laboratoire d'Optique, J.-J. Trillat-C. N. R. S., Dupouy-Laboratoire de Physique de la Faculté des Sciences de Toulouse, Mahl-Institut de recherche de l'A. E. G. Photos Kitrosser et Radiotechnique.)



Les photons ou « grains de lumière » libèrent les électrons primaires du photomultiplicateur.



Avec les 3 documents de cette page, nous quittons le domaine de la mécanique ondulatoire pour effectuer un retour sur la dualité onde-corpuscule afférente aux radiations. Ici, le premier aspect dans une belle expérience d'interférométrie.



Cette composition, qui met en œuvre la diffraction de la lumière par une série de réseaux optiques diversement orientés, nous prouve fort agréablement qu'une propriété spécifique des ondes peut aussi parfois inspirer l'art photographique.