

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 61 (1935)
Heft: 23

Sonstiges

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: 09.07.2025

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

sont à l'abri des odeurs de l'étable et du poulailler, et, parce que ceux-ci sont éloignés du voisin, ce dernier ne sera pas incommodé non plus.

Résumé.

Pour la solution de ce problème, il faut comprendre le mot « architecture » dans un sens plus large que d'habitude. Ce sont les connaissances approfondies de la colonisation qui jouent le rôle important ; et tout, dans ce domaine, est subordonné à une économie rationnelle.

Frais approximatifs de construction en Fr. :

1. Maison : maçonnerie 900, charpente 3800, ferblanterie 300, chauffage 1400, installations sanitaires 600, menuiserie 1000, électricité 400, peinture 100. Total : 8500.
 2. Rural : Maçonnerie 100, charpente 700, menuiserie 100. Total : 900.
 3. Travaux d'alentours : 600.
- Total de 1, 2, 3 : 10 000, participation du colon 400, reste 9600.

Nouvelles bases philosophiques de la science.

L'illustre savant anglais Sir James Jeans a publié, sous le titre « *The new background of science* » (Cambridge, University Press) un admirable ouvrage dans lequel « il a tenté d'esquisser, dans les termes les plus simples, les grands traits de la physique théorique actuelle. Une philosophie rudimentaire, largement brossée, dit-il encore — philosophie de savant et non de métaphysicien — m'a servi en quelque sorte de fond, ou d'arrière-plan, pour traiter mon sujet. Je suis persuadé — avec la plupart des hommes de science — qu'il faut cet arrière-plan à nos connaissances nouvelles pour les grouper en un tableau cohérent et nous permettre d'en apprécier la pleine signification. Sans référence à cet arrière-plan, des propositions telles que, par exemple : « un électron est constitué d'ondes de probabilité » où « le principe d'indétermination montre que la nature n'est pas déterministe » ne peuvent exprimer qu'une bien faible fraction de la vérité ».

On jugera par les trois sous-chapitres que nous reproduisons ci-dessous avec quel succès Sir J. Jeans a réussi ce qu'il dit avoir « tenté ». Ces chapitres sont extraits de la traduction française du livre de Sir J. Jeans publiée, sous le titre « Les nouvelles bases philosophiques de la science »¹, par MM. Hermann et Cie, éditeurs, à Paris, qui nous ont obligeamment autorisés à les reproduire. Cette traduction française est assez fidèle, mais elle paraît avoir été faite un peu hâtivement ; nous y avons relevé plusieurs contresens et le traducteur n'a pas toujours su « épouser » la pensée de Sir Jeans, toute en nuances et souvent d'une exquise subtilité. Il est vrai que la tâche était extraordinairement difficile.

C'est dans le dessein de donner à nos lecteurs une idée de l'ingéniosité de Sir Jeans, en matière de représentation des notions les plus abstraites, que nous reproduisons le court article sur « l'interprétation de la représentation ondulatoire » au cours duquel il objective le fameux « principe d'indétermination » par

l'évocation de nuages de poussière qui altèrent notre vision de la nature. Un autre merveilleux artifice, véritable acrobatie, est celui qu'il met en jeu pour nous amener à considérer les ondes lumineuses non comme des « ondes d'énergie », mais comme des « ondes de probabilité » « qui peuvent donc se déplacer non plus avec la vitesse de la lumière, qui est finie, mais avec la vitesse de la pensée, qui est infinie ».

Les quelques passages entre parenthèses, dans le texte ci-après, sont des retouches du texte français qui nous ont été inspirées par la confrontation avec l'original anglais (2^e édition).

Le courant (flux) de rayonnement.

Heisenberg... refusa de s'occuper des électrons et des protons *inobservables* appartenant aux atomes lointains et concentra son attention sur les photons *observables* qui en étaient issus. Ils constituent un ensemble hétéroclite d'espèces séparées, dont le caractère distinctif est d'abord la *fréquence*. L'ensemble ressemble moins au tableau de chasse d'un tireur qu'au sac de tickets récoltés par un contrôleur de chemin de fer. Le principe de Ritz montre, en effet, qu'à chaque photon il faut associer deux fréquences fondamentales (sa fréquence propre mesure leur différence), exactement comme à chaque ticket de chemin de fer sont associées deux stations, par exemple Aberdeen et Birmingham. La théorie de Bohr avait représenté, pour ces deux fréquences, des mouvements sur des orbites fixes (la théorie de Bohr représentant ces deux fréquences fondamentales comme celles de mouvements d'électrons sur des orbites fixes) ; on imaginait que l'émission d'un photon résultait du passage de l'électron d'une orbite à l'autre, exactement comme le ticket rendu après un trajet de chemin de fer peut être considéré comme le résultat du voyage entre deux stations. Heisenberg ne s'attacha à aucune représentation de l'origine des photons ; seul le courant (flux) de lumière l'intéressait. Dans le langage de notre analogie, il n'essaya pas de représenter en détail le mouvement des trains sur le réseau (les voies), mais il étudia le fonctionnement du système dans son ensemble, sous la forme où le (que) révélait la totalité des tickets transmis par les employés de l'administration centrale (transmis à l'administration centrale par les collecteurs de tickets). Nos sens, voilà le quartier général (l'administration centrale). On peut y étudier les tickets, mais les locomotives, wagons et passagers sont tous *inobservables*.

Le quartier général (l'administration centrale) peut acquérir bien des connaissances statistiques variées en examinant cette collection de tickets ; on peut y découvrir, par exemple, le nombre total de passagers quittant Aberdeen, le nombre total de ceux qui y arrivent, la recette totale des guichets d'Aberdeen, le nombre total de kilomètres parcourus par les voyageurs partis d'Aberdeen, et ainsi de suite pour toutes les stations de la ligne. Pour coordonner toutes ces connaissances, on commencera probablement par dresser des tables du nombre de tickets vendus à chaque station pour toutes les autres. Si nous représentons par A, B, C, D, E les différentes stations : Aberdeen, Birmingham, Carlisle, Dundee, Edinburgh, etc., on peut mettre les résultats sous la forme :

$$A \rightarrow B = 23$$

$$B \rightarrow C = 72$$

$$A \rightarrow C = 13,$$

etc.

Le tout pourrait se résumer dans un tableau à double entrée, comme ci-dessous :

Arrivée	D É P A R T D E				
	A	B	C	D	E
A	103	23	13	84	22
B	23	207	72	28	43
C	13	72	90		
D	84	28			
E	22	43			etc.

¹ Les nouvelles bases philosophiques de la science, par Sir James Jeans, traduit de l'anglais par A. Lalonde, docteur ès sciences physiques. Paris, Hermann et Cie, éditeurs. Un volume de 308 pages (17/25 cm), avec un portrait de Sir J. Jeans. Prix : Fr. 40.—

Table des chapitres : I. L'accès au monde extérieur. — II. Les méthodes de la science. — III. La charpente du monde extérieur. — IV. Le mécanisme. — V. La texture du monde extérieur ; matière et rayonnement. — VI. La mécanique ondulatoire. — VII. Indétermination. — VIII. Les événements.

Un tableau carré, à double entrée, fournit le moyen le plus naturel de ranger des grandeurs dont chacune est associée à deux autres (deux circonstances). En mathématiques, ce tableau s'appelle une *matrice* et les nombres qui y figurent : 103, 23, 13... s'appellent les *éléments* de la matrice.

Le premier de ces nombres, 103 dans notre cas particulier, signifie que le quartier général (l'administration centrale) a reçu 103 tickets d'Aberdeen pour Aberdeen. Nous pouvons les interpréter comme des billets de quai achetés et vendus (rendus) à Aberdeen.

Le nombre suivant, 23, indique que 23 personnes ont accompli le trajet de Birmingham à Aberdeen, tandis que le nombre 23 de la ligne au-dessous signifie que des voyageurs en nombre égal ont accompli le trajet en sens inverse. Cela concorde-t-il avec la réalité en ce qui concerne les chemins de fer ? Je ne sais, mais c'est bien ainsi que les choses se passent en physique. Car le problème original y est toujours idéalisé de façon à ramener les conditions à la simplicité maxima ; on admet, en particulier, que le gaz émettant les photons est en état stable. Ceci exige qu'il soit en équilibre avec son propre rayonnement et, par conséquent, qu'il absorbe tous les photons qu'il émet (qu'il absorbe autant de photons qu'il en émet) quelle que soit leur nature, exception faite des photons en nombre insignifiant qui s'échappent et viennent impressionner nos appareils. Ainsi, les atomes qui prennent un état donné et ceux qui le quittent sont en nombre égal. (Ainsi il y a autant d'atomes qui passent d'un état à un autre, en émettant des photons, qu'il y en a qui évoluent en sens inverse et absorbent des photons.)

Il en résulte que dans la matrice qui enregistre le nombre des photons les éléments correspondants sont égaux. La matrice est « symétrique », en ce sens que chaque colonne verticale comprend les mêmes nombres que la ligne horizontale correspondante.

Notre matrice a simplement enregistré le nombre — ou plutôt les proportions relatives — des photons de chaque espèce ; elle ne contient pas toutes les connaissances « observables » dont nous disposons. Sur un billet de chemin de fer on trouve deux noms de villes, et aussi le prix qui renseigne sur la distance entre elles. De même, chaque photon porte la marque indélébile et inaltérable d'une certaine grandeur, sa fréquence, qui nous renseigne sur l'écart entre ses deux fréquences fondamentales spécifiques.

Même ici, nous n'atteignons pas la limite de nos connaissances observables. Nous avons dit ce que nous savons du nombre relatif de nos photons, mais rien encore de leur mode d'oscillation. Un grand nombre d'indices expérimentaux montrent que les oscillations d'un photon ressemblent à celles d'un son musical pur ; on peut les comparer au va-et-vient d'un point pris sur la périphérie d'un volant qui tourne à une vitesse parfaitement uniforme.

En mathématiques, ces oscillations sont appelées « harmoniques simples ». Les modifications qu'elles impliquent sont proportionnelles à celles de la grandeur $\cos(2\pi\nu t + \varepsilon)$ où ν est la fréquence de l'oscillation et ε représente sa phase. Toutefois, cette formule est trop explicite pour le problème actuel où la phase n'est pas accessible à l'expérience.

Néanmoins, il est facile d'éviter cet excès de précision. Un théorème bien connu de Moivre nous dit que, quelle que soit la quantité θ :

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta,$$

où e est la fonction exponentielle ordinaire, de sorte que e^x est la quantité e , soit 2,71828... élevée à la puissance x , pendant que $\cos \theta$ et $\sin \theta$ sont les fonctions trigonométriques ordinaires et que i représente la racine carrée de -1 .

Toutes les grandeurs de l'algèbre peuvent (toute grandeur algébrique C peut) se représenter sous la forme $A + iB$, où A et B sont des quantités numériques ordinaires. Le théorème de Moivre montre que :

$$Ce^{i\theta} = \sqrt{A^2 + B^2} [\cos(\theta + \varepsilon) + i \sin(\theta + \varepsilon)]$$

où ε dépend du rapport de A à B .

Si on assigne à θ la valeur spécifique $2\pi\nu t$, on s'aperçoit que le premier terme $[\sqrt{A^2 + B^2} \cos(\theta + \varepsilon)]$ représente exactement l'oscillation voulue. Nous pouvons, alors, représenter

l'oscillation par $Ce^{2\pi i\nu t}$, sans oublier de négliger le coefficient de i étant entendu que le terme multiplié par i est négligé. En opérant ainsi, nous ne prétendons pas connaître la phase ε , puisque nous ne divisons pas C en ses parties constituantes A et iB . On a là un artifice très commode, d'un emploi très général dans l'étude théorique des oscillations et des vibrations de toutes sortes.

Ceci dit, on peut incorporer en une matrice unique tout ce que l'expérience nous apprend sur la lumière débitée, par exemple, par une masse d'hydrogène. On obtient une matrice de la forme :

$$\begin{vmatrix} C_{aa}e^{2\pi i(\nu_a - \nu_a)t}, & C_{ba}e^{2\pi i(\nu_b - \nu_a)t}, \\ C_{ab}e^{2\pi i(\nu_a - \nu_b)t}, & C_{bb}e^{2\pi i(\nu_b - \nu_b)t}, \\ C_{ac}e^{2\pi i(\nu_a - \nu_c)t}, & \text{etc.} \end{vmatrix}$$

où ν est remplacé par sa valeur connue $\nu_a - \nu_b$, etc., et où ν_a, ν_b , etc., sont les fréquences fondamentales de Ritz. Nous ne connaissons pas les valeurs de ν_a, ν_b ... séparément, mais seulement leurs différences qui, seules, interviennent dans la matrice.

Le principe d'incertitude.

... Ainsi, le détail le plus fin qu'il nous soit possible d'apprendre, relativement à une portion quelconque de l'univers, est celui que nous apporte un *photon unique*. Celui-ci transfère à notre instrument l'énergie et la quantité de mouvement qu'il a enlevée (enlevées) au fragment du monde extérieur où il prit naissance. Or, de même qu'un coup de fusil provoque un recul de l'arme, le photon imprime un recul à l'atome qui l'a émis et, par l'intermédiaire de cet atome, au fragment d'univers que nous essayons d'étudier. Il peut donc nous donner des nouvelles précises de l'univers tel qu'il était. Mais, le recul qu'il imprima à l'univers, en l'abandonnant pour nous apporter ces nouvelles, fait que celles-ci ne sont déjà plus fraîches au moment où elles nous atteignent ; elles sont relatives à un univers ancien qui, déjà, n'est plus. Les photons sont porteurs de quantités de mouvement qui se répartissent, à partir de zéro, vers les valeurs positives ; il semblerait alors qu'on puisse obtenir des renseignements aussi précis qu'on le veut en employant des photons doués d'une faible quantité de mouvement. En théorie, cela est vrai ; en pratique, cela déplace simplement la difficulté. Car les photons dont la quantité de mouvement est faible ont des périodes si longues que nous ne pouvons plus préciser l'instant auquel se rapporte l'information qu'ils nous fournissent ; autant vaudrait essayer de chronométrer un « cent mètres » avec une horloge comtoise qui ne marque que les secondes.

Ainsi, nous nous trouvons en face d'un dilemme. Certains photons sont si énergiques qu'ils impriment à l'univers un recul violent avant de le quitter ; ils nous apportent par conséquent des renseignements inexacts sur sa condition actuelle. D'autres mettent si longtemps à raconter leur histoire quand ils arrivent qu'ils ne peuvent nous apporter d'information exacte en ce qui concerne le temps. Les photons intermédiaires présentent les deux défauts. La science n'a pas trouvé d'issue au dilemme. Au contraire, elle a montré qu'il n'y a pas d'issue. Le « principe d'indétermination », ou « principe d'incertitude », d'Heisenberg montre que, tant qu'on ne pourra pas explorer la nature autrement que par photons complets, il faudra renoncer à obtenir des renseignements parfaitement précis au double point de vue du temps et de l'espace. L'exactitude ne s'obtient dans une direction qu'au prix de l'inexactitude dans une autre ; nous n'évitons que notre soulier nous blesse à un endroit qu'en l'amenant à nous blesser ailleurs.

Une discussion mathématique exacte montre qu'on a beau essayer l'une après l'autre toutes les sortes de photons, le produit des deux erreurs ne peut jamais descendre au-dessous d'une certaine valeur minima. Dans des expériences prévues et exécutées avec une parfaite habileté, le produit des deux erreurs est le même pour toutes les sortes de photons et égal à cette valeur minima. Par exemple, pour obtenir une connaissance complète du mouvement d'une particule, il nous faut deux données : le moment exact où la particule passe devant un repère donné de notre appareillage et sa vitesse exacte au même instant. Si nous mesurons la vitesse de notre

particule en fonction de sa quantité de mouvement, nous trouvons que le produit des erreurs sur la position et la quantité de mouvement ne peut jamais être inférieur à la constante h de Planck. Nous avons déjà remarqué la manière dont cette quantité régit la physique atomique entière. Ici, elle est caractéristique du manque de finesse du photon qui nous sert de sonde pour pénétrer les secrets du monde extérieur. La valeur de h , comptée en cm-g-s, est de $6,55 \times 10^{-27}$ et la masse de l'électron est 9×10^{-28} . Alors, le produit des incertitudes sur la position et sur la vitesse de l'électron, mesuré dans les mêmes unités, est 0,73. Par exemple, si, en lui faisant illuminer un écran, ou par tout autre moyen, je découvre qu'un électron se trouve à moins d'un centième de centimètre d'un point, la vitesse de son mouvement sera nécessairement incertaine à au moins 73 cm : s près, ce qui correspond à la vitesse d'un pas ralenti.

Nous avons jusqu'ici représenté l'électron comme une particule, mais il nous est également possible de le représenter en fonction d'ondes de Schrödinger. Puisque les deux représentations caractérisent un même objet, nous devons, bien entendu, pouvoir tirer de la représentation ondulatoire le même « principe d'incertitude » que de la représentation corpusculaire. Nous allons voir que c'est chose possible.

Quand on considère l'électron comme un système d'ondes, la longueur d'ondes de celles-ci dépend, comme on l'a déjà vu, de la vitesse de l'électron. Ainsi, le problème de la mesure exacte des vitesses revient au problème de la détermination exacte des longueurs d'ondes. Les mathématiques pures nous apprennent que ce dernier problème n'est soluble qu'à la condition de disposer d'un nombre d'ondes infini. Pour un nombre plus petit, le concept de longueur d'onde est sans signification exacte. Si nous disposons d'un million d'ondes, nous pouvons mesurer leur longueur d'onde, à environ un millionième près, mais il est absurde de parler d'une mesure plus précise. Nous pouvons illustrer cette conclusion purement mathématique en considérant les difficultés qui s'élèvent lorsqu'il s'agit de mesurer, au laboratoire, les longueurs d'onde d'un train d'ondes défini. Pour plus de simplicité, supposons que ce soient des ondes de télégraphie sans fil et que nous les fassions arriver sur un récepteur ordinaire, qu'on peut accorder sur la longueur d'onde voulue. Tout train d'ondes provoquera par résonance une perturbation dans un domaine fini de longueurs d'ondes. Quand nous allongeons le train d'ondes, l'interférence avec les longueurs d'ondes voisines diminue, mais ne disparaît pas complètement tant que la longueur du train d'ondes n'est pas infinie. Or, on a vu que les ondes représentent la probabilité pour qu'il se trouve un électron en un point quelconque de l'espace. L'électron peut se trouver n'importe où dans les limites du train d'ondes et un train d'ondes infini entraîne une incertitude infinie sur la position de l'électron.

Passons maintenant à l'autre extrême, et imaginons qu'un train d'ondes infiniment court arrive sur le récepteur. L'appareil n'y voit rien d'autre qu'une perturbation soudaine qui disparaît au moment même où elle a pris naissance. Tous les sans-filistes savent bien qu'une telle perturbation impressionne toutes les longueurs d'onde sans distinction et, par conséquent, n'admet pas de longueur d'onde définie. Un train d'ondes infiniment court représente un électron dont on peut repérer la position avec précision ; on voit que sa longueur d'onde, sa quantité de mouvement et sa vitesse sont complètement indéterminées.

L'examen mathématique des cas intermédiaires conduit précisément au principe d'indétermination dont nous avons déjà donné l'explication. Plus est grande la précision sur la quantité de mouvement, plus est grande l'incertitude sur la position, et vice-versa ; le produit des deux incertitudes ne peut jamais être inférieur à la constante h de Planck et, dans les cas les plus favorables, il possède exactement la valeur h .

Interprétation de la représentation ondulatoire.

Il n'est pas surprenant que l'interprétation corpusculaire et l'interprétation ondulatoire conduisent au même « principe d'incertitude » ; l'inverse eût été l'indice d'une erreur. Toutefois, ces interprétations conduisent à ce principe par des chemins différents. Quand nous employons pour l'électron la représentation corpusculaire, nous nous apercevons que l'incertitude est inhérente à la représentation elle-même (l'incertitude porte sur la connaissance de la nature que nous obtenons par nos expériences sur ladite nature). En bref, la représentation corpusculaire nous apprend que notre connaissance de l'électron est indéterminée ; la représentation ondulatoire nous apprend que l'électron lui-même est indéterminé, qu'il

subisse ou non nos expériences. Or, le contenu du principe d'incertitude doit être le même dans les deux cas. Il n'y a qu'un seul moyen d'y arriver ; il nous faut admettre que la représentation ondulatoire fournit une image, non de la nature objective, mais seulement de ce que nous savons de la nature.

Nous avons précédemment vu la science du XIX^e siècle partir à la recherche de la nature, comme l'explorateur examine le désert du haut d'un aéroplane. Le principe d'incertitude montre clairement que la nature ne se laisse pas examiner d'une façon aussi détachée ; on ne peut l'explorer qu'en la foulant sous nos pieds et en y provoquant des perturbations ; la vue que nous en avons comprend les nuages de poussière que nous soulevons nous-mêmes. Ces nuages peuvent être de différentes sortes, mais le principe d'incertitude montre qu'il n'y a pas moyen de traverser le désert sans que, d'une manière ou d'une autre, il s'élève un nuage pour gêner notre vue. La représentation ondulatoire décrit le paysage estompé par ces nuages de poussière.

Nous verrons bientôt qu'il en résulte autant de représentations ondulatoires que de manières de faire de la poussière. Nous comprendrons les raisons de tout ceci en réfléchissant à l'origine de la représentation ondulatoire. Cette représentation fut introduite pour nous servir de modèle à l'équation d'Heisenberg. Celle-ci s'occupe uniquement d'« observables », c'est-à-dire qu'elle néglige la nature objective au profit de l'observation que nous en pouvons faire. Heisenberg entreprit de résoudre l'énigme de l'univers physique en renonçant à résoudre l'énigme principale — la nature de l'univers objectif — et en concentrant toute son attention sur un problème plus restreint : il chercha à coordonner les observations de l'univers. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que la représentation ondulatoire définitive se trouve uniquement occupée de notre connaissance de l'univers, telle qu'elle nous est révélée par l'observation.

NÉCROLOGIE

Guillermo Zammit.

Les quelques notes suivantes émanent d'un collaborateur et ami de M. G. Zammit, ingénieur, à Séville, décédé soudainement, il y a quelques semaines. Nous sommes heureux de pouvoir ainsi rendre hommage à la mémoire d'un de nos plus chers camarades qui manifesta toujours un attachement touchant à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne dont il fut élève, de 1901 à 1905.

Réd.

Après un court stage, de trois mois, au bureau technique de M. A. Palaz, à Lausanne, G. Zammit partit pour Nancy où il s'occupa essentiellement de la construction de machines dynamoelectriques.

Les questions d'exploitation l'intéressant davantage, il entra, en 1908, comme ingénieur aux services de l'Energie du



GUILLERMO ZAMMIT