

Constantes universelles

Autor(en): **Mercier, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **124 (1944)**

PDF erstellt am: **04.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90444>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Constantes universelles

Par

ANDRÉ MERCIER, Berne

Introduction

Mesdames,
Messieurs,

Les constantes universelles se rangent parmi les notions les plus singulières qui ressortent de la contemplation de la Nature. Les unes, sujettes à la découverte physique, sont caractéristiques de l'instance avec laquelle s'imposent les lois naturelles. Les autres, qui résument en quelques symboles l'ensemble des théories physiques, sont autant de jalons, de mesures absolues tout d'abord cachées à notre entendement, caractéristiques de la structure du monde, de l'aspect fondamental et philosophique de la science physique, et cela avec une précision et une certitude auxquelles n'atteint aucune autre science de la Nature.

Dans d'autres disciplines, il existe aussi de ces jalons, servant de guides à la recherche; le géologue reconnaît ses fossiles, ses couches stratigraphiques, ses moraines d'anciens glaciers; l'anthropologue trouve des silex taillés, des poteries, des outils de bronze ou de fer. Les physiciens ont à leur disposition *la vitesse de la lumière, la charge de l'électron, le quantum d'action, l'élément d'entropie*; avec ces grandeurs fondamentales, ces *universaux*, ils prétendent atteindre à l'ultime composition de l'univers.

La physique connaît actuellement un très grand nombre de *constantes*. Mais seules un petit nombre d'entre elles ressortissent à une universalité véritable, et parmi celles-ci, il y en a quelques-unes qui sont indépendantes les unes des autres, formant comme un conseil supérieur, absolu, duquel dépend la conduite de toute opération de la nature physique des choses.

Ce conseil se scinde en deux organes; juridiquement, on dirait peut-être que ces organes ont des compétences distinctes. Nous dirons ici que ces deux organes sont philosophiquement irréductibles. En termes juridiques, on dirait peut-être que l'un de ces organes est responsable de la législation, alors que l'autre assure le respect d'une constitution fondamentale. Nous dirons que ce dernier assure la conduite, dirige l'activité du physicien vis-à-vis de l'état de choses réalisé dans l'univers, tandis que le premier, lui, montre comment cet état de choses se manifeste dans la réaction mutuelle des corps matériels répartis dans l'univers.

Disons-le tout de suite, rien de ce qui touche à *la vie* ne retiendra ici notre attention. Pour autant que je suis correctement renseigné, l'étude du phénomène de la vie n'a pas amené à la découverte de constantes universelles, que ce soient des constantes caractéristiques de l'action mutuelle des corps animés par la vie, ou que ce soient des constantes que nos théories sur le comportement, sur l'évolution de ces corps doivent insérer dans leur structure d'une manière ou d'une autre. La science du corps vivant — en tous cas à l'heure actuelle — se distinguerait donc de celle de la matière inanimée entre autres par l'absence de tels organes censés former un conseil supérieur qui, en physique au sens le plus large, c'est-à-dire dans toute la science de la matière inanimée, s'impose au savant, dans sa recherche, tout comme le musicien subit soit l'impulsion dirigée des règles fondamentales d'un contrepoint dont la perfection (surnaturelle) lui paraît évidente, soit l'empire de l'harmonie musicale dont il découvre les lois (naturelles).

Le musicien (ou le poète) et le physicien se trouvent ainsi dans des situations analogues. Tous deux, ils se proposent de déceler, de comprendre, de connaître l'harmonie des lois universelles de la Nature où nous vivons et procèdent à cet effet de manière semblable :

La contemplation, l'intuition, la foi en leurs capacités qu'ils savent modestes, l'exercice, les aident à fabriquer des moyens d'investigation, à construire le schéma de leur connaissance qui s'appliquera à la réalité pour l'expliquer; pour le premier ce sont les règles d'un contrepoint, pour le second les postulats d'une théorie. Ils les emploient alors dans la recherche des lois naturelles.

Dans cette voie, le physicien a le privilège unique, extraordinaire de pouvoir sans cesse puiser à une source de nourriture spirituelle dont l'effet jusqu'ici a toujours été infaillible, la mathématique. Aussi ne manque-t-il pas d'en faire emploi. Cela l'a amené précisément dans la situation exceptionnelle de pouvoir introduire, dans la construction de son contrepoint, ou de devoir mettre en évidence, dans la découverte de l'harmonie qu'il recherche, des « constantes » parfaitement, univoquement définies à partir de quelques notions élémentaires, fondamentales et intuitives; ces constantes possèdent une mesure et des caractères, cette mesure est un nombre¹ et ces caractères sont ses dimensions physiques ainsi que sa structure mathématique.

Exclusion de la géométrie

Si la géométrie était une branche de la physique, je serais tenté de dire que le nombre $\pi = 3,14 \dots$ est une constante universelle. C'est la mesure d'un angle, ce n'est donc pas un nombre pur, mais une grandeur qui a un caractère, une structure mathématique et qui aurait des dimensions, si la géométrie faisait partie de la physique. Mais je préfère dire que la géométrie n'est pas une branche de la physique telle qu'on la cultive actuellement. Si elle en était une, ne faudrait-il pas à plus forte raison encore considérer le calcul des probabilités comme branche d'une physique élargie ? Je procéderai dans le sens contraire, excluant de la physique dont je parle non seulement le calcul des probabilités et la géométrie, mais encore la cinématique-même, qui n'est que l'étude du mouvement en soi, donc une branche d'une géométrie élargie. La physique ne commence véritablement que là où règne *une* harmonie déterminée, *une* loi, douée de toute la réalité que postule l'étude de la Nature, une loi douée de toute la réalité que ressent journellement l'expérimentateur, que touche celui qui courbe des barres élastiques, celui qui dissout un sel dans un liquide ou qui allume une lampe électrique pour voir clair dans sa chambre. Les constantes universelles qui nous intéressent sont *dans* cette barre, *dans* ce liquide, *dans* le filament de cette lampe. La physique commence là où il faut chercher une loi d'interaction des corps répartis

¹ Nombre relatif, bien entendu, à une « unité » conventionnelle.

dans le monde et elle se sent sûre d'elle-même chaque fois qu'elle en a trouvé une et qu'elle sait l'employer.

Ni la géométrie, ni la cinématique se révèlent les lois particulières de l'interaction qui règne dans ce monde d'objets matériels. Elles nous disent quelles sont toutes les harmonies possibles, quelles sont toutes les lois pensables. Mais alors l'algèbre ou l'analyse et la logique en font tout autant.

Constantes physiques

En physique, on a introduit ou découvert un assez grand nombre de constantes. Toutes n'ont pas la même importance. Chaque fois que l'une d'elles a droit de cité en toute circonstance, quelle que soit l'époque, quel que soit le lieu, quelles que soient les conditions qui fixent l'état détaillé et global d'un objet soumis à l'expérience ou à la considération théorique, qu'elle a droit de cité dans l'explication de l'ensemble du monde physique, c'est une constante universelle.

Et chaque fois qu'un savant en introduit ou en découvre une qui soit véritablement universelle, il faudrait lui tresser une couronne.

Exemples

L'histoire de la science, à ce propos, ne montre pas seulement de l'ingratitude. Ainsi il est une certaine constante généralement désignée par k , qui est universelle et à qui on a donné le nom de celui qui l'a introduite; c'est la constante de BOLTZMANN. Il en est de même d'une constante dont on parle beaucoup aujourd'hui, la constante h de PLANCK. Mais qu'en est-il par exemple d'une autre constante tout aussi importante et tout aussi universelle, de la vitesse c de la lumière ? On pourrait lui donner le nom de GAUSS, ou de préférence peut-être celui de MAXWELL, à moins qu'on ne tienne à honorer RÖMER, le premier qui l'a mesurée, ou encore — ce serait peut-être là le plus correct — à lui donner le nom d'EINSTEIN, puisque c'est de ses travaux que ressort son universalité véritable. Et la charge de l'électron, que je tiens aussi pour une constante universelle, doi-je en honorer le théoricien LORENTZ, ou l'expérimentateur MILLIKAN ?

Quant à la constante de la gravitation, elle remonte à NEWTON, et tout le monde en sait assez sur le génie de cet homme pour que soit honorée sa mémoire.

On entend parler d'autres constantes. La constante R des gaz, par exemple, n'est pas universelle. Le nombre d'AVOGADRO ne résulte que d'une convention. La perméabilité magnétique dite du vide, dont s'occupent actuellement des électrotechniciens fort avisés, est-elle une constante universelle ? C'est là une question à laquelle ces savants n'ont peut-être pas songé; et s'il y faut une réponse, donnons-nous le temps d'y réfléchir.

Nous ne saurions nous contenter d'affirmations arbitraires. Une affirmation sur l'universalité d'une constante suppose en effet deux choses. Premièrement : dites-nous avec toute la précision nécessaire ce que veut dire le mot universel. Deuxièmement : prouvez-nous que telle ou telle constante est bien universelle. Alors nous serons logiquement satisfaits, et nous comprendrons mieux le rôle exceptionnel qu'elle joue dans la physique.

Il faudrait pour cela exposer la physique en raccourci.

Exemple d'une grandeur conventionnelle

Considérons tout d'abord un exemple. Qu'est-ce que c'est que la constante R des gaz ? Eh bien, il y a des gaz ténus, dont l'état d'équilibre est bien décrit par l'équation dite des gaz parfaits. Si l'on en prend une quantité que les chimistes appellent une mole, ou moléculegramme, la pression p du gaz, sa température absolue T et le volume V qu'occupe cette mole sont reliés par la simple relation

$$pV = RT$$

où R est une constante. Mais ce n'est une constante, indépendante de la nature du gaz, que pour une mole de gaz. Alors qu'est-ce que c'est qu'une mole ? C'est une quantité de matière définie par une pure convention. Donc pour diverses conventions on aurait diverses constantes des gaz; la constante R changerait par conséquent de valeur non seulement si l'on changeait les unités de mesure, mais aussi si l'on modifiait les termes de la convention. Et puis, ce qui est plus grave, si un habitant de la planète Mars (à supposer qu'il existât) s'avisait d'écrire l'équation des gaz parfaits pour la même pression et la même température de nouveau avec le

volume d'une mole de notre gaz, il devrait employer une autre constante R , comme la théorie de la relativité nous l'enseigne. Mais alors, si la constante R dépend d'une convention, ou de la planète d'où l'on observe les gaz, ou de toute circonstance pareille qu'on peut appeler circonstance humaine, c'est qu'elle n'est pas universelle.

Citons un exemple analogue, le nombre d'AVOGADRO, qu'on appelle aussi nombre de LOSCHMIDT. C'est le nombre de molécules contenues dans une mole. Mais alors c'est un nombre conventionnel, puisque la mole est une quantité conventionnelle. Parfaitement. C'est un cas analogue à la constante des gaz. L'analogie va même plus loin; tout comme pour R , le nombre d'AVOGADRO n'est pas le même pour un habitant de la Terre et pour un habitant de la planète Mars, à cause du mouvement relatif de ces deux corps célestes.

Le nombre d'AVOGADRO n'est donc pas universel.

Premier exemple d'une constante universelle : k

Les raisons qui font que ni R ni le nombre N d'AVOGADRO ne sont universels sont au fond les mêmes. A tel point, que si l'on forme leur rapport

$$\frac{R}{N} = k,$$

l'influence de la convention ou du mouvement relatif des planètes s'évanouit : En toutes circonstances, ce rapport est le même.

Alors ce rapport, que nous appelons k , mérite la désignation d'universel.

En effet, k est une constante universelle, c'est la constante de BOLTZMANN ou élément d'entropie.

C'est l'exemple d'une constante constructive

Pour parvenir à décrire l'évolution de la matière, on a dû distinguer entre deux cas qui s'excluent. Il y a des phénomènes périodiques, tels que les oscillations élastiques ou électriques, le mouvement des pendules et des planètes; et puis il y a leurs combinaisons, leur généralisation, telles que les précessions, les nutations, la chute des corps, le mouvement des charges électriques qui s'influencent mutuellement, la propagation des ondes (sonores ou

électromagnétiques). Tous ces phénomènes admettent une mesure commune du temps, à cause de cette périodicité fondamentale. Et parce que périodicité veut dire retour à un état déjà occupé, ces phénomènes sont dits *réversibles*.

L'étude des phénomènes réversibles est essentiellement rationnelle, on peut la faire en principe grâce à l'emploi d'équations qui expriment l'égalité entre une grandeur connue et une grandeur inconnue. La mécanique rationnelle, la théorie des corps déformables, celle de l'électricité, l'optique, en sont des exemples typiques. Une partie de la thermodynamique également étudie des phénomènes réversibles, mais une partie seulement.

Car le véritable avantage de la thermodynamique est qu'elle permet l'étude de phénomènes irréversibles. Il s'agit de phénomènes qu'on ne peut obliger à se dérouler à l'envers sans une perte irréparable d'énergie utile. Par le fait de cette perte, les phénomènes irréversibles ne sont pas soumis simplement à des équations ou égalités, mais à des inégalités. Ils se déroulent d'une manière telle que les corps matériels qui y prennent part quittent leur état pour se rendre dans un *état plus probable*.

Il doit être possible de décrire cette tendance par une grandeur qui évoluera dans un sens déterminé. On est parvenu à définir une grandeur pareille ou grandeur d'état; c'est CLAUDIUS qui l'a fait à la suite des travaux de CARNOT, et cette grandeur s'appelle l'*entropie*. L'entropie et la probabilité devraient ainsi faire cause commune; c'est ce que BOLTZMANN a compris, il les a reliées comme suit :

$$\text{Entropie} = k \cdot \text{Log Probabilité,}$$

introduisant une constante k qui, depuis, porte son nom.

Or cette tendance, qui se manifeste dans les phénomènes irréversibles, cette évolution dirigée vers les états de plus grande probabilité, en un mot cette irréversibilité, ce n'est pas le résultat d'une action particulière de certains corps les uns sur les autres, ce n'est pas l'effet d'une loi comparable à la gravitation, à l'attraction ou à la répulsion des charges électriques ou à la cohésion des noyaux d'atomes. La constante de BOLTZMANN n'est donc pas une constante d'interaction.

Relier une grandeur ou variable thermodynamique comme l'entropie à la probabilité qu'ont les corps de se répartir d'une certaine manière dans les états qui sont à leur disposition, c'est

fonder une théorie, c'est construire un outil de recherches, c'est organiser sa pensée. En d'autres termes, la constante de BOLTZMANN n'est donc pas une constante d'interaction.

Relier une grandeur ou variable thermodynamique comme l'entropie à la probabilité qu'ont les corps de se répartir d'une certaine manière dans les états qui sont à leur disposition, c'est fonder une théorie, c'est construire un outil de recherches, c'est organiser sa pensée. En d'autres termes, la constante de BOLTZMANN est un outil, un rouage, l'ancre ou le pendule d'un mouvement d'horlogerie : sa valeur nous révèle avec quelle instance se fait sentir cette tendance caractéristique des phénomènes irréversibles.

La constante de BOLTZMANN est une *constante constructive*, c'est « l'élément d'entropie » caractéristique de la différence entre la réversibilité et l'irréversibilité.

On démontre dans la théorie des gaz que le rapport de la constante R des gaz au nombre d'AVOGADRO N est égal à la constante de BOLTZMANN. Mais ce rapport ne saurait servir de définition, la véritable définition de k est celle de BOLTZMANN¹.

Il serait désirable qu'une constante constructive pareille soit la même en toute circonstance, de manière à mériter le titre d'universel.

Or c'est le cas. On démontre que la probabilité ainsi que l'entropie sont les mêmes pour tous les observateurs, ou, comme on dit, qu'elles sont des *invariants* dans la théorie de la relativité restreinte, invariants en toute circonstance prévisible dans cette théorie. Leur rapport est naturellement aussi un invariant.

La constante de BOLTZMANN ou élément d'entropie est donc une constante constructive universelle; c'est ce que nous appelons *un universel*.

Deuxième exemple d'une constante universelle : c

Le célèbre GAUSS a cru bien faire lorsqu'il a proposé l'emploi de deux systèmes d'unités pour exprimer l'intensité des grandeurs électromagnétiques. L'un, le système des unités électrostatiques, devait servir surtout lorsqu'il s'agit de mesurer des grandeurs plus « électriques » que « magnétiques » telles que la charge, la tension,

¹ Ou une définition équivalente réalisée par exemple par l'introduction de l'ensemble canonique de Gibbs.

le courant électrique (en certaines circonstances), la capacité, etc.; l'autre, le système des unités électromagnétiques, devait servir surtout lorsqu'il s'agit de mesurer des grandeurs plus « magnétiques qu'électriques », telles que le courant électrique (en certaines circonstances différentes des précédentes), le champ et l'induction magnétiques, etc. Bien entendu, on peut repérer toute grandeur de nature électrique ou magnétique au moyen de l'un ou au moyen de l'autre système d'unités. Il existe un schéma qui permet de passer d'un système d'unités à l'autre.

Bien que ce dédoublement des unités ait une racine assez profonde dans la nature des phénomènes électromagnétiques et qu'il présente des avantages dans certaines circonstances, il présente des défauts que l'on ne connaît que trop bien aujourd'hui. Mais quoi qu'il en soit, il doit être caractérisé par une donnée, un rapport fixe d'un système d'unités à l'autre, par une constante, qu'on peut prendre par exemple égale au rapport du nombre i_s qui mesure un courant électrique dans le système des unités électrostatiques au nombre i_m qui mesure le même courant électrique dans le système des unités électromagnétiques. On la désigne alors généralement par c :

$$\frac{i_s}{i_m} = c$$

Il se trouve que ce rapport a les dimensions d'une vitesse et vaut, en cm./sec.,

$$c = 3.10^{10} \text{ cm./sec.}$$

Parmi les grandeurs physiques liées à l'existence et au mouvement de l'électricité, il y en a deux qui sont importantes et que l'on nomme le champ électrique et le champ magnétique. MAXWELL s'en est beaucoup occupé. Il en fait la théorie générale et a démontré qu'ils doivent se propager dans l'espace vide sous la forme d'ondes à une vitesse précisément égale au rapport c que nous venons de définir. Cette constante gagne par là beaucoup en importance, puisqu'elle caractérise la propagation des grandeurs électromagnétiques dans l'espace.

Les ondes découvertes par MAXWELL ont des propriétés intéressantes: elles peuvent avoir diverses longueurs d'ondes, on peut les réfléchir, les réfracter, les faire interférer, les disperser, les polariser... bref, elles ont toutes les propriétés que possède la lumière. C'est MAXWELL qui le premier a pensé que ces ondes ne

sont autres que la lumière elle-même, idée audacieuse mais géniale, d'autant que la vitesse c avec laquelle elles se propagent coïncide, dans la limite des erreurs d'expérience, avec celle de la lumière.

C'est l'exemple d'une constante constructive

Les charges électriques agissent les unes sur les autres, d'une part par une action électrique directe transmise par le champ électrique, action connue sous le nom de loi de COULOMB, et d'autre part lorsqu'elles sont en mouvement sous forme de courant électrique et par l'intermédiaire du champ magnétique, action connue sous le nom de loi de BIOT et SAVART. Comme le phénomène de la lumière est une propagation de champs électrique et magnétique, on peut dire que c'est la lumière qui transmet l'action électrique. La théorie moderne des quanta le voit bien ainsi. Mais l'intensité de cette action n'est pas fixée par la vitesse de sa propagation, aussi la vitesse de la lumière n'est-elle pas la caractéristique de la loi ou des lois de l'action électrique, ce n'est pas une constante d'interaction.

Bien que la tendance se soit tôt fait sentir d'incorporer l'électromagnétisme à la mécanique rationnelle, celui-là s'est toujours montré réticent. Le champ électrique et le champ magnétique sont des notions physiques assez étrangères à la mécanique telle que NEWTON l'a fondée, la notion de champ, créée par FARADAY et précisée d'une manière tout particulièrement raffinée par MAXWELL, était destinée à occuper une place centrale dans une théorie spéciale, celle de l'électricité, et l'on ne pouvait espérer arriver sans faute à l'acclimater dans le domaine de la mécanique. De fait, il a fallu qu'EINSTEIN soumit la question à une étude très profonde pour qu'une entente entre ces deux disciplines fût possible. Et le compromis réalisé par EINSTEIN, l'un des produits les plus synthétiques que l'on doive à la pensée théorique, montre clairement le rôle joué par la constante c . En effet, EINSTEIN postule ou démontre sur cette constante trois choses : premièrement, la constante c est la même en toute circonstance, c'est une constante universelle, elle ne dépend en aucune manière des observateurs qui veulent en déterminer la valeur; deuxièmement cette constante, ou plutôt son carré, est le nœud qui lie deux des principes les plus profonds selon lesquels la Nature procède, l'indestructibilité de la masse

inerte et celle de l'énergie dans toute sa diversité en les fusionnant en un seul principe, d'où il ressort clairement que c n'est pas la constante d'une loi naturelle d'interaction, mais qu'elle a un caractère nettement constructif; troisièmement, c'est la vitesse limite au-dessus de laquelle rien de ce qui est matériel dans le monde ne saurait se mouvoir — de nouveau une proposition universelle qui est bien caractéristique de notre manière constructive d'étudier la Nature et non pas la conséquence de l'action particulière que certains corps exercent les uns sur les autres.

La constante c , qu'on appelle communément la *vitesse de la lumière*, est donc *un universel*.

Troisième exemple d'une constante universelle : h

Autant les efforts du XIX^{me} siècle s'étaient portés à géométriser la physique dans le cadre de l'espace des sensations immédiates, trouvant leur épanouissement dans la théorie de la relativité, autant la physique nouvelle qui a commencé en 1900 s'est-elle abstenue de cette tendance pour s'attacher à la détermination d'un état de choses très différent, tirant son origine dans la matière-même de l'univers et non pas seulement rattaché à sa configuration ou à sa répartition dans l'espace.

Cette tendance vers l'étude de l'état de la matière dans toute sa plénitude remonte aux méthodes de la thermodynamique d'une part, et à celles de la dynamique analytique de l'autre. Elle se faisait donc déjà sentir, mais ce n'est qu'avec la théorie des quanta qu'on est arrivé à porter son intérêt principalement sur l'état véritable et total de la matière et sur son évolution. Les questions qu'un expérimentateur peut poser actuellement à un théoricien sont de la forme suivante : « Si je prépare telle ou telle expérience avec des électrons, des ions, des atomes ou tout autre assemblage matériel, dites-moi quel est l'état dans lequel j'ai des chances de les trouver par l'observation ? »

En d'autres termes, il convient d'indiquer ce qu'on va faire avec des objets matériels, quelle opération pratique, expérimentale on va leur faire subir à partir d'un état connu, et il s'agit de prédire la probabilité qu'il y a de les trouver, une fois l'opération effectuée, dans tel autre état. Cette probabilité est distincte de celle dont je parlais à propos des phénomènes irréversibles.

Ici, il s'agit de l'évolution réversible de la matière, de son évolution microscopique, d'état en état, par petits sauts ou continûment selon le cas. Ces états et cette évolution, il s'agit de les faire ressortir d'une explication théorique générale, indépendamment des actions particulières qui les créent selon les circonstances et selon les assemblages de particules mis en jeu dans le phénomène étudié.

PLANCK, le premier, a fixé des états pareils; c'était à propos de l'émission et de l'absorption de l'énergie rayonnante par la matière. Ces états trouvèrent leur expression symbolique dans une constante appelée depuis la constante de PLANCK. EINSTEIN en a par la suite expliqué l'évolution d'une manière élémentaire.

BOHR, le second, a fixé les états de la matière dans certaines circonstances; c'était à propos de la formation des spectres de tous les atomes qui composent le système périodique des éléments. De nouveau, dans la théorie de BOHR, la constante de PLANCK jouait le même rôle que dans la théorie de PLANCK.

De là à généraliser il n'y avait qu'un pas. En principe c'était simple, en pratique il a fallu les efforts de SOMMERFELD, puis ceux d'un LOUIS DE BROGLIE, d'un SCHRÖDINGER, d'un HEISENBERG, d'un DIRAC et d'autres, pour obtenir une belle théorie des états de la matière et de son évolution microscopique. C'est la théorie des quanta.

A chaque phase, à chaque pas, en toute occasion et circonstance, cette théorie caractérise ces états et cette évolution par une mesure toujours la même, une constante qui est donc universelle; c'est la constante h de PLANCK ou *quantum d'action*.

C'est une constante constructive

Que la constante de PLANCK soit une constante constructive, cela ressort sans autre de ce que nous venons d'en dire. Ce n'est pas la caractéristique d'une action particulière entre certains corps, c'est un nouvel universel qui fixe les états microcosmiques de la matière.

Pour comprendre mieux encore la différence qu'il faut faire entre les constantes de nature constructive et celles qui caractérisent des interactions, nous allons, après avoir dans ce qui précède, cité les trois constantes constructives ou universaux k , c

et h , indiquer trois constantes d'interaction; ce seront la constante de la gravitation, celle de l'interaction électromagnétique et celle de l'interaction qui est responsable de la cohésion et la radioactivité des noyaux d'atomes.

Définition de la physique

La physique étudie l'action mutuelle des corps et l'évolution temporelle qui en résulte. Pour cette étude, elle a besoin de coordonner les résultats de l'expérience par une ou plusieurs théories. Cette ou ces théories sont faites de manière à admettre des lois d'interaction.

Il y a des interactions primaires et d'autres qui sont dérivées. Ainsi le frottement, la viscosité, la tension capillaire, l'élasticité, le choc dur, le choc mou dans les corps de dimensions courantes résultent tous d'une manière ou d'une autre de l'action électrique des corpuscules chargés constituant la matière, elles en dérivent, et l'action électrique, elle, est primaire.

La constante de la gravitation

L'action électrique est la plus répandue et la plus étudiée, mais non pas la plus anciennement connue parmi les actions primaires. Bien avant qu'on l'eût découverte, NEWTON trouva que l'évolution des corps célestes et des masses en général doit être attribuée à ce qu'il appela la gravitation, et pour la décrire, aidé peut-être par les recherches de GALILÉE sur la pesanteur, il eût recours à une constante d'interaction, la constante de la gravitation universelle.

La constante de Fermi

A côté des actions de nature électrique ou gravitationnelle, il doit exister une action mutuelle des corpuscules qui composent les noyaux d'atomes, afin que la cohésion aussi bien que la radioactivité de ces noyaux s'expliquent. Dans sa théorie des mystérieux neutrinos, FERMI a cherché à caractériser l'intensité de cette interaction par une constante qui porte maintenant son nom. Depuis, on s'est beaucoup occupé des noyaux; on a modifié la théorie; la théorie à la mode, aujourd'hui, c'est celle des mésons. On est loin

de l'époque où NEWTON trouvait une loi de gravitation dont l'exactitude devait braver deux siècles ! Quoi qu'il en soit, la constante de FERMI est restée, au cours du développement des théories sur les noyaux d'atomes, la caractéristique de cette interaction encore mal connue.

Constante caractéristique de l'interaction électrique

Pour en revenir à l'électricité, on peut s'attendre à ce que l'action mutuelle des charges électriques, aussi bien au repos qu'en mouvement, doive être caractérisée par une constante, comme la gravitation ou la cohésion et la radioactivité des noyaux le sont.

Or, ce n'est pas l'habitude de parler d'une telle constante dans les leçons de physique, si bien que même des physiciens exercés se demanderont peut-être pourquoi ils ne la connaissent pas. La faute en est à GAUSS, ou peut-être à COULOMB et à BIOT et SAVART, qui n'ont pas employé ou introduit de constante d'interaction électrique. On peut, en effet, se dispenser de l'introduire explicitement; mais en procédant ainsi, on cache la véritable nature de l'électricité en en faisant une notion purement mécanique. Cela est choquant, et c'est contre cette insuffisance que s'allient actuellement les efforts des spécialistes de l'électricité et des questions de mesures physiques; en Suisse aussi, on s'efforce d'obvier à ce défaut. Espérons qu'on arrivera bientôt à implanter dans la physique la notion indépendante et universelle d'électricité. Il y a plusieurs moyens de le faire. Quel que soit celui qu'on choisisse, par exemple dans un congrès international, on sera conduit en tous cas à l'introduction de certaines constantes caractéristiques de la propriété que possède le vide de laisser passer l'action électromagnétique, d'être en quelque sorte « transparent ». C'est pourquoi on parle volontiers de la constante diélectrique du vide et de la perméabilité magnétique du vide. Ces constantes ne sont pas indépendantes l'une de l'autre. L'une d'elles, ou toute combinaison peut servir de constante caractéristique de l'interaction électromagnétique.

Il serait erroné de vouloir faire résider l'intensité de l'interaction électrique dans le fait de la charge électrique elle-même; on lit quelquefois des propositions tendant à le faire croire. On

est même allé plus loin; sachant que tout phénomène traité par la théorie quantique de la radiation est caractérisé dans son intensité par la célèbre constante de la structure fine de SOMMERFELD¹, donc proportionnelle au carré de la charge e de l'électron, on dit que c'est la charge de l'électron qui caractérise l'interaction. Cependant c'est inexact de vouloir attribuer à la charge de l'électron le rôle de constante d'interaction, car, en réalité, comme l'a montré SOMMERFELD en 1935, l'expression de la constante de la structure fine doit contenir la constante diélectrique du vide, ϵ_0 , dont nous venons de dire qu'elle caractérise, elle, l'intensité de l'interaction².

C'est la constante diélectrique du vide ϵ_0 , ou la perméabilité de vide μ_0 qui caractérise l'interaction, ou encore, par exemple, la combinaison suivante :

$$\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = R_0$$

qui a les dimensions d'une résistance, comme celle dont il est question dans la loi d'OHM.

Et maintenant, qu'est-ce alors que la charge de l'électron que nous venons de citer ? Est-ce une constante universelle ? Certes, c'est même un universel, comme nous allons le voir dans une association d'idées à première vue toute différente de ce qui vient d'être dit.

Unités et mesures universelles

Pour exprimer les relations de toute la physique, on a besoin de *cinq unités*.

Les unités c. g. s. (le centimètre, le gramme et la seconde) sont courantes, ce sont trois unités mécaniques conventionnelles qu'on pourrait facilement remplacer par exemple par le mètre, la

¹ On l'écrit généralement

$$\alpha = \frac{e^2}{\frac{h}{2\pi} c}$$

² L'expression correcte de la constante de la structure fine est la suivante :

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \frac{h}{2\pi} c}$$

tonne et l'heure ou tout autre triplet qui n'a d'ailleurs pas besoin d'être composé d'une longueur, d'une masse et d'un temps; on pourrait choisir une énergie, une puissance, une vitesse...

A côté de trois unités mécaniques, il faut introduire une unité électrique. On ne le fait pas d'habitude, mais on a tort, car c'est absurde de vouloir faire de l'électricité une propriété mécanique des corps. Comme unité, on pourra prendre une charge, un courant, une résistance, ou tout ce que l'on voudra qui ait affaire avec l'électricité; le choix de cette unité sera toujours conventionnel.

Enfin, en plus de trois unités mécaniques et d'une unité électrique, on a besoin d'une unité thermique. On prétend quelquefois que la température est mesurée par l'énergie cinétique moyenne des gaz. C'est incorrect. C'est tout aussi absurde de vouloir intégrer la température à la mécanique en en faisant une énergie moyenne, que de vouloir intégrer l'électricité à la mécanique en faisant par exemple de la charge électrique la racine carrée d'un certain nombre d'erg. cm. Mais si nous devons choisir une unité thermique, nous ne sommes pas obligés de prendre la température pour le faire, nous pouvons choisir une autre propriété, par exemple la chaleur spécifique, ou la conductibilité thermique, ou le coefficient de dilatation thermique, ou l'entropie,...

Toutes les unités sont conventionnelles, il n'y en a point d'absolues. Mais peut-être serait-il « naturel » d'en choisir cinq qui soient plus fondamentales que toutes les autres, cinq qui soient mieux faites que toute autre pour situer les événements du monde physique, qui soient les mesures naturelles et non pas les mesures humaines de l'univers, cinq unités, mesures de la structure du microcosme comme du macrocosme, cinq mesures forgées pour qu'elles s'appliquent sans autre à la Nature, partout, toujours, en toute circonstance, bref *cinq universaux*.

Or, nous en possédons quatre : ce sont la vitesse de la lumière, le quantum d'action, l'élément d'entropie, et la charge de l'électron. Cette dernière, la charge de l'électron, est en effet un universel comme les trois premières, elle est la même en toute circonstance et ne décrit pas une interaction, mais résulte de notre manière de concevoir l'électricité, manière qui consiste à en construire toute la structure à partir d'une charge unique.

Cependant nous ne possédons actuellement que quatre universaux, et il nous en faudrait cinq pour les employer comme

unités naturelles. Afin de les compléter, on pourrait emprunter l'une des constantes d'interaction; c'est ce que faisait MAX PLANCK lorsque l'idée d'unités naturelles lui était venue pour la première fois. Mais ce serait maladroit de le faire dans le cadre de nos considérations actuelles, car, tout d'abord, laquelle des constantes d'interaction devrait-on prendre pour cela ? Ensuite il se pourrait qu'on découvre d'autres interactions; ainsi on estime depuis quelques années qu'il doit exister une interaction mystérieuse qui serait responsable de l'expansion de l'univers et qui serait caractérisée par une constante dite cosmique dont la valeur est fort imprécise. Enfin les constantes d'interaction n'ont pas le caractère d'unités de mesure. *Ce sont elles qu'il s'agit de mesurer*, afin de savoir avec quelle intensité les phénomènes de la Nature ont tendance à se développer.

Il faut donc dans ce but créer des mesures universelles, et puisque nous n'en avons que quatre, la question se pose : Quelle est la cinquième ?

Cette mesure, ce cinquième universel n'est pas encore connu, mais je ne doute pas qu'on le trouve. Tout ce que je puis en dire, c'est que je présume que ce sera une constante ayant soit le caractère d'une longueur d'univers, soit celui d'une pression ou, ce qui revient au même, une densité d'énergie, car ce sont là deux grandeurs physiques dont je puis affirmer qu'elles sont invariantes, c'est-à-dire les mêmes en toute circonstance de l'observation¹.

On trouvera vraisemblablement ce cinquième universel lorsqu'on sera parvenu à créer une nouvelle théorie plus raffinée encore que la théorie des quanta, plus apte à attaquer les problèmes de la physique nucléaire. Plusieurs savants déjà font converger leurs efforts dans cette direction. Souhaitons-leur tout le succès possible.

Lorsque ce cinquième universel sera à notre disposition, le cénacle sera complet, il ne manquera personne à l'organe qui, dans notre conseil supérieur, est chargé d'assurer le respect de la constitution fondamentale.

* * *

¹ Eventuellement un élément d'espace-temps, qui est un pseudoscalaire.

Mesdames, Messieurs,

Si la physique sert à des fins utilitaires, si elle permet de réaliser la construction d'appareils, de voir clair dans la marche des machines, de suivre le déroulement des phénomènes naturels, de nous familiariser avec le comportement de tout ce qui nous entoure, de photographier ce que l'œil ne voit pas, d'enregistrer ce que l'oreille n'entend pas, elle le fait avec une précision telle, elle l'exprime par des relations si exactes et si bien enchaînées, qu'elle nous conduit au delà du phénomène lui-même, qu'elle nous mène aux confins du règne de l'inanimé, à la frontière où se joignent matière et pensée.

Le long de la voie commune où la matière et la pensée se rencontrent dans les jugements des théories, la physique a placé des pierres milliaires, ce sont les constantes universelles.

Son analyse révèle un curieux développement.

La première phase de la physique, la mécanique de NEWTON, ne contient aucun universel; elle a reconnu l'existence d'une constante d'interaction primaire, celle de la gravitation, mais elle ne comporte aucune constante universelle pouvant servir d'unité naturelle.

La phase suivante est celle de la mécanique relativiste. Elle contient un universel, la vitesse de la lumière.

La troisième phase est celle de la théorie de l'électricité qui se sert, elle, de deux universaux, la vitesse de la lumière et la charge de l'électron.

La quatrième phase est la physique statistique, qui fait usage de trois universaux, la vitesse de la lumière, la charge de l'électron et l'élément d'entropie ou constante de BOLTZMANN.

La cinquième enfin ajoute à ces trois un quatrième universel, le quantum d'action ou constante de PLANCK.

Peut-être aurons-nous le privilège de voir éclore la sixième phase qui, comme j'ai tenté de le suggérer, devrait nous faire connaître une constante encore, pierre d'angle de l'édifice de la physique de l'avenir.