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

Artikel: Les tendances de la physique moderne et la notion de matière
Autor: Guye, C.-E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-741968

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: 06.07.2025

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

LES TENDANCES DE LA PHYSIQUE MODERNE

ET LA

NOTION DE MATIÈRE

PAR

C.-E. GUYE

Conférence faite à l'Assemblée générale de la Société Helvétique des Sciences Naturelles réunie à Berne le 25 août 1922.

Si l'on cherche à se rendre compte du vertigineux essor qu'a pris depuis une trentaine d'années la physique moderne, on est tenté de le caractériser par les trois qualificatifs suivants:

La physique moderne est devenue de plus en plus *électromagnétique*, *discontinue* et *statistique*.

A ces trois caractères qui suffisaient pleinement à jeter le trouble dans les esprits accoutumés aux conceptions classiques du milieu du XIXe siècle, est venu s'en ajouter un quatrième, plus troublant encore, par l'introduction du principe de relativité. Avec ce principe, la physique tend à devenir non seulement *relative*, mais *métaphysique*, ce qui risque fort de donner parfois aux discussions scientifiques une allure dogmatique.

Dans le court espace de temps dont je dispose, vous me permettrez de ne dire que fort peu de choses de ces tendances générales: il sera plus aisé de les rendre compréhensibles en montrant comment elles ont agi sur l'évolution de la notion de *matière*. De toutes les notions métaphysiques que nous sommes appelés à utiliser dans l'explication des phénomènes physiques, celle de matière est peut-être la plus importante. C'est elle en effet qui sépare le physicien du géomètre tout en le reliant au biologiste.

PREMIÈRE PARTIE

I

J'ai dit tout à l'heure que la physique tendait à devenir de plus en plus *électromagnétique*.

En effet, bien que l'expérience de Thalès de Milet, démontrant que l'ambre (ἤλεκτρον) frotté était susceptible d'attirer les corps légers, soit une des plus anciennes expériences de physique qui aient été réalisées, on peut dire que l'électricité n'a conquis que très tardivement la place d'honneur qu'elle occupe aujourd'hui dans l'explication des phénomènes physiques.

Jusque vers le milieu du XIXe siècle, et actuellement encore de façon moins absolue, la classification des phénomènes physiques est celle qui résulte directement et presque exclusivement de leur observation sensorielle originelle.

A la notion d'*effort musculaire*, nous voyons correspondre la mécanique physique, à l'*ouïe*, l'acoustique, à la *vue*, l'optique, à la *sensation de toucher chaud ou froid*, la chaleur.

Seuls l'électricité et le magnétisme ne semblaient correspondre à aucun sens spécial; aussi ces deux domaines formèrent-ils pendant longtemps un chapitre à part qui ne semblait relié à aucun autre et que l'on avait coutume de placer à la fin des traités de physique.

Le premier pas décisif dans la généralisation des phénomènes électromagnétiques fut franchi par Maxwell et ses successeurs qui réunirent en un seul corps de doctrine les phénomènes de la lumière et ceux de l'électromagnétisme. Par cette conception hardie, la lumière devenait ainsi un chapitre spécial de ce dernier domaine.

La théorie électromagnétique de la lumière, comme vous le savez, est aujourd'hui universellement admise par les physiciens. Non seulement elle explique tous les faits dont la théorie mécanique de Fresnel fournissait une explication satisfaisante, mais elle embrasse tous les phénomènes d'électro-optique dont l'ancienne théorie était impuissante à rendre compte de façon complète (rapports entre la constante diélectrique et l'indice de réfraction, phénomène de Zeemann, phénomène de Kerr, etc.)

La théorie électromagnétique de la lumière fut donc un événement considérable dans l'évolution de la physique vers l'électromagnétisme. Mais depuis, cette tendance à considérer le phénomène électromagnétique comme le plus général, celui qui par des modifications ou des simplifications convenables, les comprendrait tous, n'a fait que se développer. A l'heure actuelle, cette tendance a même atteint la mécanique qui paraissait la base immuable de l'ancienne physique. C'est ainsi que le postulat fondamental de la mécanique classique, l'*inertie* a trouvé une explication dans les propriétés mêmes du champ électro-magnétique et les phénomènes de self induction.

Partout nous voyons donc les forces électriques et magnétiques se substituer aux autres forces, et tout récemment encore M. Keesom et M. Debye ont pu de façon très plausible, assimiler les forces de la pression interne des fluides à des actions électrostatiques.

Mais cette généralisation des explications électromagnétiques paraît avoir une cause profonde dans le fait que les atomes eux-mêmes seraient constitués exclusivement par des charges électriques; ces charges, douées d'inertie, graviteraient autour d'un noyau électropositif, comme le feraient des planètes autour d'un astre central.

Cette conception permet ainsi par les seules lois de l'électromagnétisme, adaptées il est vrai à la mécanique discontinue de l'atome, de rendre compte des principales propriétés que l'on attribue aux atomes; leur inertie, l'émission de raies spectrales et même dans une certaine mesure, l'affinité chimique[1].

C'est, comme on le voit, le triomphe sur toute la ligne de l'électromagnétisme. En effet, si, en dernière analyse, les atomes des corps simples ne sont constitués que par le groupement de charges électriques positives et négatives, il en résulte que toutes les forces de la physique et de la chimie (à l'exception peut-être de la mystérieuse gravitation) se réduisent à des forces électriques et magnétiques, agissant suivant les lois connues qu'a déterminées pour la première fois l'illustre Coulomb.

[1] Voir à ce sujet A. Berthoud, La constitution des atomes et l'affinité chimique, *Rev. gén. des Sciences*, juillet 1922.

II

Nous avons dit en second lieu que la physique moderne était orientée vers la *discontinuité*.

Cette discontinuité de la matière est affirmée d'abord par toute la *chimie* et particulièrement par la théorie atomique.

Comment en effet expliquer aisément, sans elle, les lois fondamentales des proportions définies et des proportions multiples qui régissent les combinaisons et les décompositions chimiques?

Nous la retrouvons également dans toutes les *théories cinétiques* dont Daniel Bernoulli, le savant bâlois, eut l'immortelle gloire de jeter les premières bases scientifiques.

Ces conceptions cinétiques furent pendant longtemps, il est vrai, purement théoriques, mais les études faites récemment sur le mouvement brownien leur ont donné une réalité expérimentale qu'elles n'avaient pas auparavant. En effet, l'étude de ce singulier mouvement d'agitation des particules en suspension a fourni une image visible de l'agitation thermique et surtout a permis de retrouver, avec une grande approximation les principales constantes numériques de la théorie cinétique des gaz. Par l'étude statistique des déplacements browniens, on a donc jeté un pont entre le visible et l'invisible et rendu les théories cinétiques presque tangibles.

Mais cette notion de discontinuité n'est pas restée confinée aux seules particules, molécules ou atomes; nous avons vu apparaître l'*atome d'électricité négative* (électron). D'autre part, les recherches les plus récentes nous permettent d'envisager dans la constitution des atomes, des *atomes d'électricité positive* (électrons positifs) dont l'inertie serait très sensiblement égale à celle de l'atome d'hydrogène et près de deux mille fois plus grande que celle des électrons négatifs.

Or cette inertie de l'électricité n'est pas une pure fiction de l'imagination. On la mesure actuellement avec une très grande précision. De plus la réalité de ces charges élémentaires s'est vue confirmée par tout un ensemble de phénomènes, tels que l'ionisation des gaz, les rayonnements radioactifs, la conductibilité des électrolytes, etc.

Tous ces phénomènes sans exception font appel à la notion de l'existence d'une charge élémentaire.

Mais cette notion de discontinuité ne s'est pas étendue seulement à la matière et à l'électricité envisagée actuellement comme une matière; elle a envahi le domaine de l'énergie, avec la théorie si féconde des quanta.

L'étude du *rayonnement* nous montre en effet l'émission de la lumière s'effectuant par petits paquets, par grains d'énergie. D'autre part, la *mécanique atomique* semble être, elle aussi, discontinue. Les mouvements de ces planètes minuscules ne sont pas régis par des lois analogues à celles qui gouvernent notre système solaire. Toutes les modifications qui peuvent se produire à l'intérieur de ces systèmes paraissent conditionnées, non par des modifications continues, mais par de brusques variations d'énergie. *Natura non fecit saltus* avait-on coutume de dire autrefois. Il n'y a pas actuellement d'adage qui ait en physique moins de valeur et de succès.

En définitive, il semble que la continuité dans tous les domaines ne soit qu'une illusion, illusion commode puisqu'elle facilite, il est vrai, singulièrement nos calculs, en nous permettant d'appliquer à la résolution des problèmes qui se posent ce précieux auxiliaire qu'est le calcul différentiel et intégral.

Mais si l'on pénètre dans l'intimité des phénomènes, on se heurte, semble-t-il, toujours au discontinu, c'est-à-dire à de brusques variations [1].

III

La troisième tendance est, nous l'avons dit, la tendance *statistique*. Elle est la conséquence directe de la discontinuité et du nombre prodigieux d'éléments moléculaires atomiques ou électroniques qui interviennent dans le phénomène le plus simple en apparence.

[1] Il n'y a pas, à l'heure actuelle, jusqu'aux biologistes qui n'aient reconnu la nécessité de faire appel à la notion de discontinuité dans l'évolution biologique. Telles sont en particulier ces mutations héréditaires, lesquelles font *brusquement* apparaître un caractère nouveau qui se fixe et devient permanent.

Dans un centimètre cube de gaz à 0° et 760 mm, nous avons environ 3×10^{19} molécules, c'est-à-dire trente milliards de milliards d'éléments moléculaires qui agissent les uns sur les autres, s'entrechoquent et choquent les parois du vase qui les contient; et le résultat de cette extraordinaire complexité c'est une loi statistique très simple : la loi de Mariotte.

Les lois de la physico-chimie nous apparaissent ainsi comme des lois statistiques qui nous cachent les lois individuelles d'action entre molécules, atomes et électrons, et le *principe de Carnot*, qui régit, comme on sait, l'évolution physico-chimique prend alors l'apparence d'un principe d'évolution statistique vers les configurations les plus probables, parmi toutes les configurations possibles que sont susceptibles de former entre eux les éléments en jeu.

Cette nouvelle conception a pour effet d'élargir singulièrement la notion du déterminisme physico-chimique en le représentant, non comme un déterminisme absolu, mais comme un déterminisme statistique, auquel la loi des grands nombres donne toute l'apparence d'une infinie précision.

IV

Sur ces diverses tendances de la physique moderne est venu se greffer le *principe de relativité* qui apporte un trouble nouveau dans nos conceptions habituelles, mais qui cependant a le mérite d'unifier et de simplifier le calcul des phénomènes physiques dans bien des cas.

Vous me permettrez, dans le court espace de temps dont je dispose de ne pas vous faire ici un plaidoyer ou un réquisitoire en faveur ou contre ce terrible principe.

Je me bornerai seulement à vous indiquer la raison fondamentale pour laquelle partisans et adversaires ne peuvent arriver à se mettre d'accord. Cette raison me semble d'ailleurs de nature plus métaphysique que physique; car la concordance entre les résultats des formules de la relativité et de l'expérience n'a pas été jusqu'ici mise en défaut. Il est vrai que le nombre des expériences qui permettent de déceler une diffé-

rence entre les deux conceptions est encore petit et que leur précision n'est pas encore très grande. Néanmoins, on peut affirmer à l'heure actuelle qu'aucun fait expérimental ne vient infirmer les nouvelles formules.

La divergence entre partisans et adversaires du principe de relativité repose en réalité sur deux conceptions diamétralement opposées et inconciliables de la notion que nous nous faisons du temps et de l'espace.

Newton envisageait le temps et l'espace indépendamment de tout phénomène. Voici d'ailleurs comment il s'exprime dans son célèbre scolie : *Le temps absolu, vrai et mathématique, pris en soi et sans relation avec aucun objet extérieur, coule uniformément par sa propre nature.*

L'espace absolu, indépendant par sa propre nature de toute relation à des objets extérieurs, demeure toujours immuable et immobile.

Pour lui, les trois grandeurs fondamentales qui sont à la base de nos explications physico-chimiques, l'espace, le temps et la masse d'un corps avaient quelque chose d'*absolu.*

Lorsqu'on affirme, par exemple, qu'un certain corps a la forme sphérique, c'est, pour Newton, une *vérité valable pour tout l'univers ;* de même si l'on dit que la durée d'un phénomène est d'une seconde ou que la masse d'un corps est d'un gramme, il n'existe aucun point de l'univers où cette assertion ne soit une vérité. Cette façon d'envisager les grandeurs fondamentales de la mécanique ayant toujours été jusqu'à la célèbre expérience de Michelson en parfait accord avec les faits expérimentaux, on s'était peu à peu habitué à la considérer comme axiomatique et tout raisonnement basé sur une conception différente paraissait et peut paraître encore contraire *au bon sens.*

Mais voilà que les Einsteiniens s'avisent de définir le bon sens de façon différente en proclamant que les notions d'espace de temps et de masse doivent être déduites des seules expériences, y compris celles où les vitesses deviennent très grandes. Or, la conception à laquelle ils arrivent coïncide pratiquement avec celle de Newton tant que l'on n'envisage que de faibles vitesses ou des champs de gravité peu intenses, mais lorsque les

vitesses deviennent énormes, la divergence entre leur définition du temps et de l'espace va en s'accentuant.

En résumé pour les Newtoniens, les trois grandeurs qui sont à la base des explications mécaniques (espace, temps, masse) ont quelque chose d'absolu, tandis que pour les Einsteiniens elles ont quelque chose de relatif et dépendent des vitesses relatives et des champs de gravité, c'est-à-dire du mode de répartition de la matière.

La métaphysique des Newtoniens est plus simple, mais il semble que leur physique doive avoir une forme plus compliquée puisqu'on n'est pas parvenu jusqu'ici à donner des phénomènes à grande vitesse une image satisfaisante dans la géométrie euclidienne.

La métaphysique des Einsteiniens est moins simple et plus générale que celle des Newtoniens, mais leur physique paraît alors plus simple, du moins dans ses formules.

Pour l'instant, laissons de côté toute considération metaphysique et rappelons seulement les conséquences fondamentales que les nouvelles formules introduisent dans l'explication des phénomènes physiques, quelle que soit l'interprétation qu'on leur donne.

En premier lieu, ces formules *simplifient considérablement la mécanique des électrons dans le cas des grandes vitesses.*

En second lieu elles réunissent en un seul principe les deux principes peut-être les plus importants de la physique: *le principe de la conservation de la matière et celui de la conservation de l'énergie.*

Dans cette manière de voir toute énergie est inerte et pesante. Il n'y a pas de matière morte, c'est-à-dire qui ne contienne en elle un principe de mouvement. Energie et inertie ne sont que les deux aspects d'une seule et même chose. On ne peut augmenter l'inertie d'un corps sans augmenter du même coup l'énergie qu'il possède et vice-versa.

Enfin les formules de relativité nous permettent de faire presque complètement *abstraction de l'existence de l'éther*, ce fluide fantôme que l'on s'était accoutumé à considérer comme le point de repère des diverses vitesses des corps et auquel on attribuait parfois des propriétés contradictoires.

Il est donc incontestable, indépendamment de toute méta-

physique, que les *nouvelles formules de la relativité, si révolutionnaires qu'elles paraissent, introduisent un élément d'unité et de simplification dans divers domaines de la physique.*

DEUXIÈME PARTIE

Dans cette seconde partie, nous montrerons comment les diverses tendances dont nous venons de parler ont agi sur l'évolution de la notion fondamentale de matière.

Mais pour apprécier les progrès accomplis, il convient de rappeler d'abord qu'il y a trente ans à peine, les physiciens, pour expliquer les phénomènes physico-chimiques, étaient obligés de faire appel à un très grand nombre de matières et de fluides hypothétiques, dits impondérables.

Tout d'abord les *corps simples*, au nombre de quatre-vingt[1] environ à l'heure actuelle; puis l'*électricité positive*, l'*électricité négative*, le *magnétisme positif*, le *magnétisme négatif*, que l'on qualifiait de fluides impondérables. Enfin, pour relier entre elles toutes ces diverses sortes de matière, il fallait recourir à l'hypothèse d'un cinquième fluide, l'*éther*.

Voici sous forme de tableau ces diverses sortes de matière :

Diverses sortes de matières.

Corps simples	(80 sortes environ)
Electricité positive	(fluide dit impondérable)
Electricité négative	» » »
Magnétisme positif	» » »
Magnétisme négatif	» » »
Ether	» » »

Or, les résultats acquis au cours de ces trente dernières années tendent à réduire toutes ces sortes de matière à une dualité ultime, l'*électron négatif* et l'*électron positif*. Tous ces fluides fantômes disparaissent ainsi les uns après les autres; seul, le plus tenace d'entre eux, l'éther, résiste encore, mais le principe de relativité lui a porté déjà, ainsi que nous l'avons dit, des coups très durs.

[1] De l'hydrogène dont le poids atomique est le plus léger à l'uranium dont le poids atomique est le plus lourd, il y a place dans la classification actuelle pour 92 corps simples, dont 87 ont été jusqu'ici reconnus.

Voyons maintenant par quelle voie cette magistrale simplification tend à se réaliser toujours plus complètement. Mais d'abord une première question se pose.

1. Comment définir la matière ? — On peut dire que la notion de matière s'est précisée pour la première fois avec Galilée et Newton. C'est au génie de ces savants qu'est due la définition précise de l'*inertie* qui, à notre avis, suffit entièrement à caractériser ce qui est matériel.

L'inertie est, comme vous le savez, la *propriété qu'ont tous les corps matériels de résister aux variations de vitesse qu'on veut leur imposer.*

Plus un corps est inerte plus on a de peine à le mettre en mouvement s'il est au repos, et plus il est malaisé de le ramener à l'état de repos s'il est en mouvement.

Cette propriété suffit à elle seule, avons-nous dit, à caractériser la matière; tous les autres attributs qui lui sont concédés: porosité, élasticité, divisibilité, etc. dont la liste figure généralement au début des traités de physique ne sont en réalité que des propriétés secondaires.

Nous dirons donc que *tout ce qui possède l'inertie est matière et que toute matière possède l'inertie;* voilà une définition simple et sans ambiguïté aucune [1].

2. Parallélisme entre la masse pesante et la masse inerte. — Mais si nous possédons depuis plusieurs siècles une définition précise de la matière par l'inertie, c'est tout récemment seulement que nous savons qu'il y a parallélisme aussi complet que possible et vraisemblablement identité entre la *masse inerte* et la *masse pesante*, telles qu'on les mesure par exemple par la force centrifuge et par la gravité ou plus spécialement par la balance.

C'est au baron Eötvös que sont dues les belles expériences qui ont montré avec une précision qui n'avait jamais encore été atteinte, que la direction d'un fil à plomb sous l'influence combinée de la force centrifuge terrestre et de la gravitation

[1] Mais à la notion de matière est liée, comme on sait, inséparablement celle de force; et la force peut être alors définie de façon générale ; *toute cause susceptible de modifier l'état de mouvement d'un corps matériel.*

était rigoureusement indépendante de la nature de la substance suspendue à l'extrémité de ce fil.

C'est donc à ces expériences relativement récentes que l'on doit la démonstration d'une vérité que l'on soupçonnait, il est vrai, depuis fort longtemps : *le parallélisme entre la masse inerte et la masse pesante.* La figure (1) montre le principe très simple des expériences d'Eötvös.

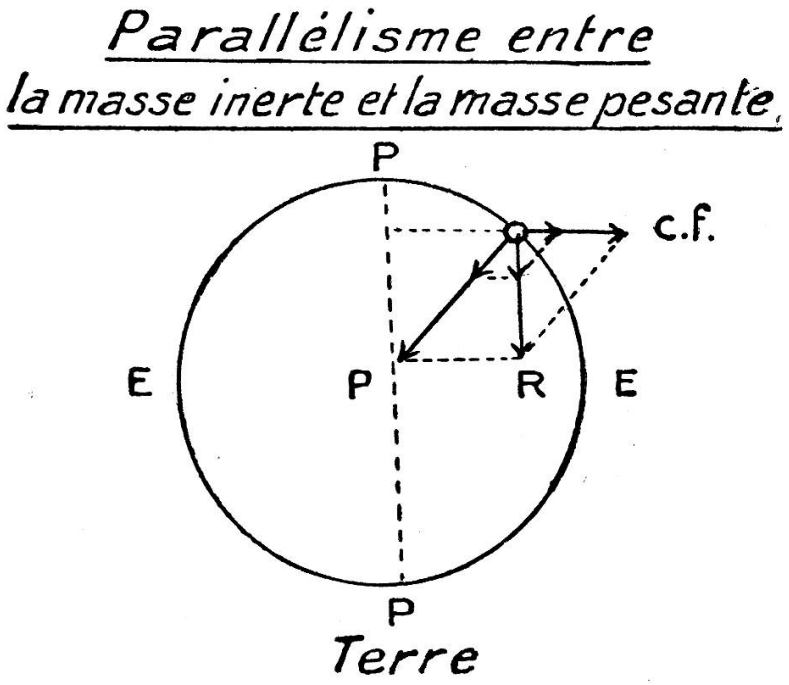

Fig. 1.

La direction de la résultante R de la force centrifuge et de la pesanteur pour un même point du globe est toujours la même, quelle que soit la nature et l'inertie de la masse suspendue à l'extrémité du fil. Elle sera par exemple la même pour une balle de liège ou une balle de plomb. En d'autres mots la force centrifuge et la pesanteur varient toutes deux proportionnellement à la masse du corps suspendu.

3. La conservation de la masse. — Si nous faisons abstraction des philosophes précurseurs de la théorie atomique, c'est avec Lavoisier que s'ouvre une première phase dans l'histoire moderne de la notion de matière.

De Lavoisier à la découverte des corps radioactifs, deux

principes dominent toute la physique: *le principe de la conservation de la matière* (dû précisément au génie de Lavoisier) et qui veut que *dans toute réaction physique ou chimique, la somme des masses des composés et des composants reste invariable.* La vérification de ce principe a été poussée récemment jusqu'aux dernières limites de précision (1/10 000 000) que permettent les procédés de pesée les plus modernes (Landolt et Manley). On peut donc dire que ce principe s'applique pratiquement à toutes les réactions que nous appelons physico-chimiques. La

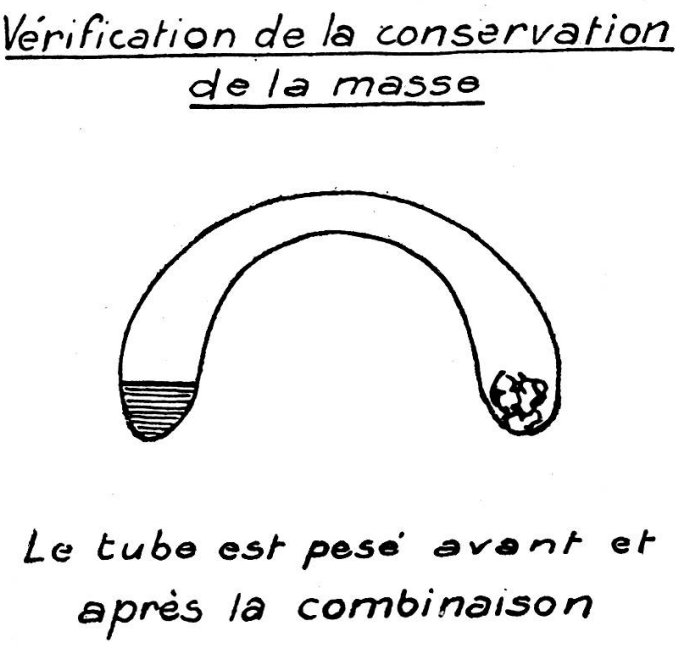

Fig. 2.

figure (2) montre le dispositif très simple en principe qui permet cette vérification fondamentale. Dans un tube fermé à la lampe on a introduit deux substances susceptibles de réagir l'une sur l'autre; l'expérience consiste à peser le tube avant la réaction, puis à produire la réaction par agitation de l'appareil et à peser de nouveau avec le plus grand soin après refroidissement.

Mais si le principe de la conservation de la masse est expérimentalement démontré lorsqu'il s'agit de réactions physico-chimiques, sa validité est moins probable lorsqu'on veut l'étendre aux réactions intraatomiques comme nous le verrons tout à

l'heure, car, toutes proportions gardées, ces réactions dégagent des quantités d'énergie autrement considérables.

Non moins important que le principe de la conservation de la matière est le principe de la *conservation de l'énergie*, qui nous enseigne que, dans toute réaction physico-chimique, il y a quelque chose aussi qui demeure constant; et ce quelque chose est l'énergie. Mais bien que l'on ne puisse concevoir de l'énergie sans matière, on s'était habitué à considérer l'énergie comme quelque chose d'immatériel qu'on pouvait transporter d'un corps à l'autre, enlever ou ajouter aux corps matériels sans rien changer à leur inertie. L'expérience en effet n'avait jamais permis de déceler aucune différence de poids, lorsqu'un corps avait gagné ou perdu de l'énergie (calorifique par exemple).

Ces deux principes constituaient donc la base fondamentale de l'explication des phénomènes physiques, dont l'évolution était en outre conditionnée par un troisième principe non moins important, *le principe de Carnot.*

Conservation de la masse, conservation de l'énergie, principe de Carnot, tels ont été et sont encore les guides les plus sûrs des recherches physico-chimiques.

4. Les corps simples. — Mais ce qui caractérise la période qui va de Lavoisier à la découverte des corps radioactifs, c'est qu'on était arrivé, par tout un ensemble de recherches précises, à la conclusion qu'il y avait environ quatre-vingt sortes de matières différentes, correspondant à ce que l'on appelle les corps simples et que ces diverses sortes de matière ne pouvaient par aucun des agents physico-chimiques connus se transformer les unes dans les autres.

L'hypothèse de Prout. — On avait bien essayé de voir (Prout) si les poids atomiques des divers corps simples étaient des multiples exacts de celui de l'hydrogène, le plus petit d'entre eux, mais les différences constatées de façon certaine par l'expérience, semblaient exclure définitivement cette hypothèse, qui s'efforçait de ramener à une matière unique les diverses sortes de matières qui constituent les corps simples. Voici, à titre d'exemple, les valeurs des poids atomiques de divers atomes; nous avons mis en regard les huit plus légers et les huit plus lourds.

Pour les atomes légers, les poids atomiques, sont en effet, très voisins d'être des multiples de celui de l'hydrogène, mais les différences constatées sont plus grandes que les erreurs possibles d'expériences. Il fallut donc renoncer provisoirement à l'hypothèse si séduisante de Prout.

TABLEAU.

H	= 1	(1)	Pt	=	193,5
He	= 3,98	(4)	Au	=	195,6
Li	= 6,94	(7)	Pb	=	205,6
Be	= 9,1	(9)	Bi	=	206,3
B	= 10,9	(11)	Nit	=	220,6
C	= 11,91	(12)	Ra	=	224,6
Az	= 13,90	(14)	Th	=	230,6
O	= 15,96	(16)	Ur	=	236,6

D'ailleurs les résultats de l'analyse spectrale appliquée aux astres, semblaient bien confirmer de façon définitive, en la généralisant de façon grandiose, cette diversité ultime et irréductible des diverses sortes de matière. Il semblait donc que l'on avait condamné à tout jamais le rêve des alchimistes.

5. LES DÉCOMPOSITIONS INTRA ATOMIQUES. — C'est la découverte de la radioactivité qui a porté le premier coup décisif à l'absolu de cette conclusion. La décomposition spontanée de l'émanation du radium avec production d'hélium, démontrée pour la première fois par Ramsay et Soddy et confirmée depuis par Curie et Dewar, reste un des événements les plus considérables dans l'histoire de la constitution de la matière.

La figure (3) représente le dispositif de l'expérience de Curie et Dewar. Dans un tube de quartz chauffé au rouge, on introduit une petite quantité d'un sel de radium; on fait le vide avec le plus grand soin et l'on ferme au chalumeau. Des armatures métalliques permettent de produire les lueurs dans le tube au moyen d'une bobine d'induction et de les analyser au spectroscope. On ne tarde pas à observer le spectre de l'émanation qui se dégage du radium; mais peu à peu, au bout d'un certain nombre de jours, apparaissent les raies de l'hélium et celles-ci se renforcent d'autant plus que l'expérience se prolonge davantage.

A première vue, on se demanda s'il ne s'agissait pas là d'une simple décomposition chimique. Mais cette décomposition singulière présente deux caractères qui la différencient totalement de toutes les autres réactions chimiques connues. D'une part, l'énergie dégagée à masse égale est plusieurs centaines de mille fois plus grande que celle correspondant aux réactions chimiques les plus énergiques; et d'autre part, cet énorme dégagement de chaleur (132 calories gramme par minute et par gramme de radium) demeure indépendant de la température d'expérience; qu'on l'observe à la température de + 1400° ou à celle de — 190° (air liquide), il demeure le même.

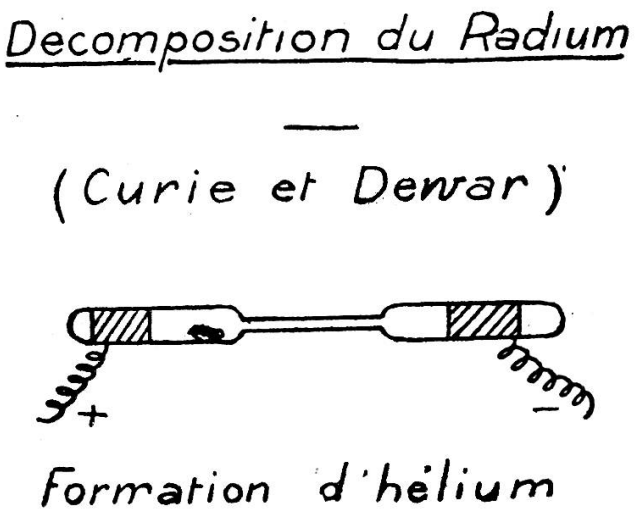

Fig. 3

On se trouve bien là en présence d'un phénomène d'une autre nature, de ce que l'on appelle aujourd'hui une réaction *intra atomique*. En outre, il semble que l'on soit impuissant à activer ou ralentir la vitesse de cette décomposition. En face de l'infiniment petit de ces décompositions radioactives, le physicien paraît se trouver dans la situation de l'astronome en face de l'infiniment grand des mondes stellaires; il demeure simple spectateur. Cette conclusion ne semble pas néanmoins absolue et les plus récentes expériences de Sir E. Rutherford conduisent à admettre que l'on peut dans certains cas agir et produire des réactions intra atomiques en utilisant l'énergie même de ces réactions. C'est ainsi qu'en faisant agir sur la

masse d'un gaz simple un bombardement énergique de rayons α, on réussit à décomposer un certain nombre d'atomes de ce gaz[1].

6. L'ATOME D'ÉLECTRICITÉ. — Mais conjointement à l'étude des rayonnements radioactifs, tout un ensemble de phénomènes qui caractérisent le passage de l'électricité à travers les gaz, et que l'on appelle phénomènes d'ionisation, rayons cathodiques, rayons β, etc., amenèrent peu à peu les physiciens à la découverte de l'*atome d'électricité* dont la charge a été déterminée de façon particulièrement précise par le physicien américain Millikan. La fig. (4) donne le schéma du dispositif de ces expériences.

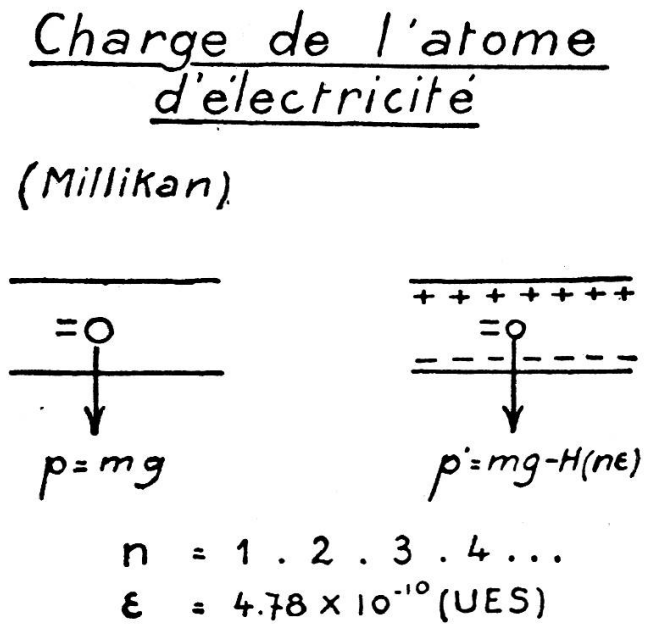

Fig. 4.

Entre les plateaux d'un condensateur, on produit au moyen d'un pulvérisateur de très petites sphérules d'huile et on les charge d'électricité positive ou négative en faisant agir, dans l'atmosphère qui les baigne, une action ionisante (rayons X, rayonnement du radium, etc.).

L'expérience consiste à mesurer la vitesse de chute de la

[1] Les rayons α sont, comme on sait, des atomes d'hélium, dont la vitesse est de l'ordre de 20 000 km à la seconde ; ils sont projetés dans la décomposition spontanée des substances radioactives.

sphérule en l'absence de tout champ électrique (schéma de gauche) et la vitesse de chute de cette même sphérule, sous l'action combinée de la pesanteur et d'un champ électrique (schéma de droite).

Un calcul très simple permet alors d'en déduire la charge de la sphérule.

Or le résultat fondamental qui se dégage de ces expériences, aujourd'hui classiques et répétées dans nombre de laboratoires, c'est que les charges qui recouvrent les gouttelettes en suspension, *ne varient que de façon discontinue.* La plus petite de ces charges observées (4.77×10^{-10} U E $S_{C.G.S.}$) a reçu le nom d'atome d'électricité ou *électron.*

La découverte de l'électron a immédiatement jeté une lumière nouvelle sur l'explication des phénomènes d'électrolyse, et indirectement sur celle de valence chimique.

7. Matérialité de l'électricité. — Mais le point qui nous intéresse plus spécialement aujourd'hui est le suivant. *L'électricité est-elle ou non de la matière ?*

Pour répondre à cette question, il suffit d'en poser et d'en résoudre une autre équivalente. *L'électricité possède-t-elle de l'inertie ?*

La fig. (5) montre le dispositif au moyen duquel on peut mesurer l'inertie d'une charge électrique. Dans un tube de verre où l'on a poussé très loin la raréfaction (tube cathodique), on fait agir une forte différence de potentiel entre la cathode — et l'anode +. La partie gauche du tube fonctionne alors comme un canon qui lancerait avec une énorme vitesse (pouvant atteindre la moitié de celle de la lumière) des électrons négatifs, lesquels par leur choc contre la paroi du tube font apparaître une tache fluorescente.

Si, dans ces conditions, au moyen d'un champ électrique ou magnétique, l'on dévie ce faisceau d'électrons (rayons cathodiques), on voit la tache se déplacer; on peut alors calculer par des considérations balistiques le rapport de la charge d'un électron à sa masse soit $\frac{\varepsilon}{\mu}$.

Comme d'autre part on connaît la valeur de la charge ε et de

façon très précise par l'expérience de Millikan, on peut en déduire avec une très grande précision la valeur de la masse μ du projectile cathodique.

Or les expériences de cette nature, effectuées d'ailleurs sur des électrons d'origine très diverses (rayon β, rayons cathodiques, corps incandescents, etc.) ont toutes conduit à une valeur de la masse, égale assez exactement à 1 /1830 de celle de l'atome d'hydrogène.

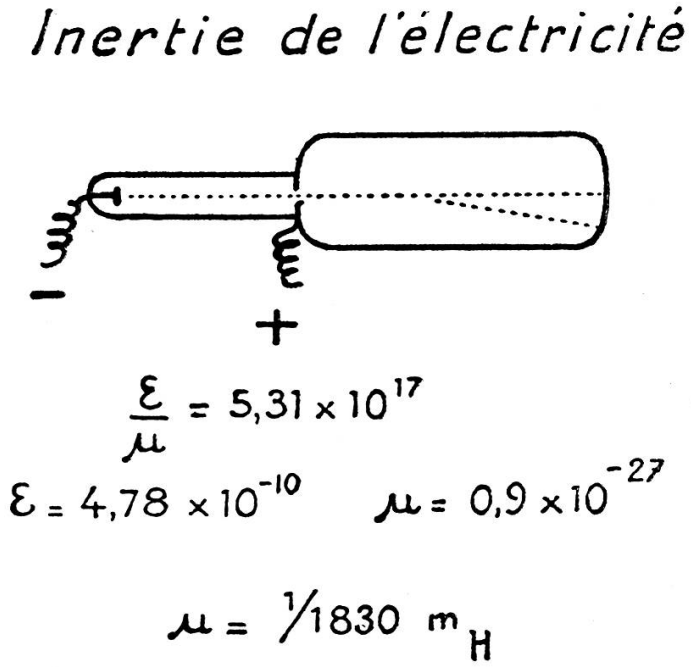

Fig. 5.

La conclusion qui s'impose est que l'électron négatif possède une inertie, égale approximativement au deux millième de celle de l'atome d'hydrogène. Cet électron entre dans la constitution des atomes, et l'électricité négative nous apparaît dès lors comme de la poussière d'atome. Mais cette poussière est inerte et vraisemblablement pesante; c'est de la matière. L'électricité perd ainsi à tout jamais ce caractère de fluide fantôme.

8. L'INERTIE ÉLECTROMAGNÉTIQUE. — Mais cette inertie est-elle tout à fait de même nature que celle qu'avait définie Newton ? Newton, avons-nous vu, considérait la masse d'un corps comme quelque chose d'absolu qui le caractérisait et qui demeurait invariable quelles que fussent les circonstances où le corps

se trouvait placé. L'inertie d'une charge électrique au contraire dépend dans une certaine mesure de sa vitesse; elle augmente d'abord très lentement au fur et à mesure que cette vitesse de déplacement s'accroît; et elle deviendrait infinie si la charge pouvait se déplacer avec la vitesse de la lumière.

Or cette augmentation de l'inertie d'une charge électrique en mouvement très rapide (prévue d'ailleurs par la théorie) a été confirmée pleinement par l'expérience. D'une part sur les rayons cathodiques et d'autre part sur les rayons β du radium au moyen d'un dispositif du type de celui représenté (fig. 5).

Voici à titre d'exemple quelques variations d'inertie correspondant à diverses vitesses.

Variation de la masse avec la vitesse.

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1-(v/V)^2}} \qquad V = 300000 \text{ kilom. à la sec.}$$

	v			$\frac{m}{m_0}$
Balle	1	kilom.	sec.	1.000000000006
Terre	30	»	»	1.000000005
Etoile	300	»	»	1.0000005
Particule α	20000	»	»	1.0022
Electron cathodique	150000	»	»	1.14
Electron β du radium	255000	»	»	1.90
	299000	»	»	12.3

Dans ce tableau m représente la masse (transversale) du corps en vitesse; m_0 sa masse à l'état de repos ; v est la vitesse de translation du corps; V celle de la lumière.

Les chiffres qui précèdent montrent suffisamment que ces variations d'inertie ne peuvent être décelées par l'expérience qu'à la condition de disposer de corps matériels ayant une énorme vitesse.

Or les plus grandes vitesses que peuvent prendre les corps matériels tels que projectiles, bolides, astres mêmes, dépassent rarement quelques centaines de kilomètres; on ne peut donc

généralement pas dans ce cas déceler par l'expérience d'aussi faibles différences d'inertie; mais il en est autrement dans la mécanique intra atomique.

Les électrons cathodiques, tels qu'on les produit actuellement, peuvent atteindre la moitié de la vitesse de la lumière, et la variation d'inertie qui en résulte est alors de 14 %. Ceux qui s'échappent des corps radioactifs dans la destruction spontanée de ces corps peuvent atteindre 285000 km à la seconde et même 299000 km à la seconde; les variations d'inertie deviennent alors considérables. Il en est de même, bien qu'à un degré moindre, pour les électrons qui gravitent à l'intérieur des atomes (Sommerfeld).

9. Le fluide magnétique est inexistant. — La fig. (6) nous montre l'une des expériences qui ont le plus contribué à faire

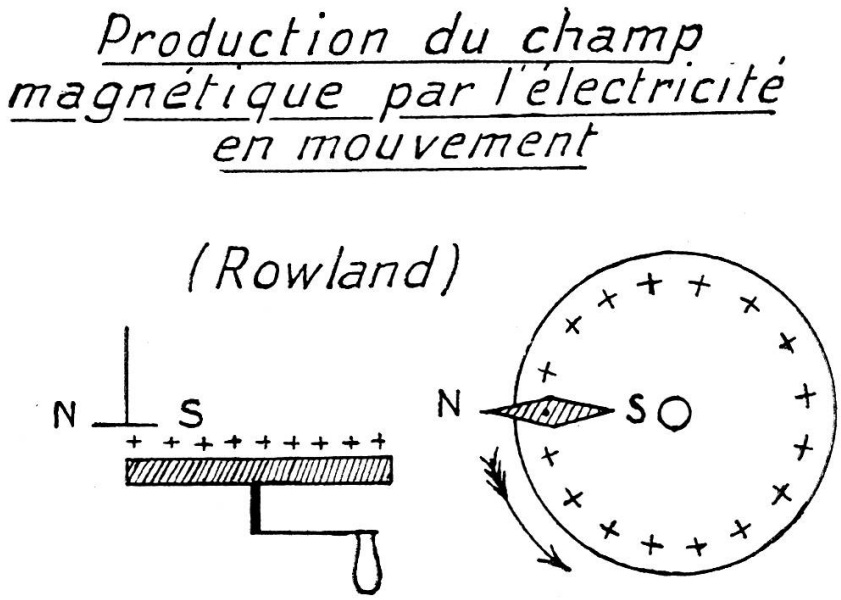

Fig. 6.

sombrer la croyance à l'existence des fluides magnétiques. Si la supposition de ces fluides peut être commode pour certains calculs et si pour cette raison nous les voyons figurer encore dans les traités de Physique, leur réalité a perdu toute vraisemblance depuis les expériences de Rowland et de son élève Pender.

Ces expériences ont montré qu'un disque chargé d'électricité et mis en mouvement très rapide est susceptible de faire dévier

une aiguille aimantée, comme le ferait un courant électrique ordinaire. Le courant électrique correspond donc bien à un mouvement réel de l'électricité et la modification de l'espace environnant que l'on nomme champ magnétique est toujours corrélative de ce mouvement. Il devient donc superflu de faire appel à l'existence de fluides magnétiques spéciaux pour expliquer le magnétisme; le mouvement de l'électricité y suffit.

10. La constitution des atomes. — Sans entrer dans le détail des expériences qui ont conduit à la conception actuelle des atomes, nous donnons ci-après quelques schémas qui montreront comment les physiciens se représentent actuellement leur constitution.

Les atomes seraient constitués exclusivement de deux éléments matériels:

a) *L'électron négatif* dont l'inertie très faible équivaut à peu près à la deux millième partie de l'inertie d'un atome d'hydrogène.

b) *L'électron positif* ayant une charge égale à celle de l'électron négatif, mais beaucoup plus condensée; ce qui, en vertu des théories électromagnétiques, lui donne une inertie beaucoup plus grande. L'inertie de l'électron positif serait à peu près celle de l'atome d'hydrogène.

Par cette conception, au lieu de quatre-vingt espèces de matière, nous n'en avons plus que deux, et toutes les forces de la physique (à l'exception de la gravitation) se trouvent ramenées de la sorte à des forces électromagnétiques.

Voici maintenant à titre d'exemple deux schémas représentant les conceptions les plus simples.

Atome d'hydrogène. — Il serait constitué d'un électron positif central d'inertie égale à *un*, autour duquel gravite un électron négatif, d'inertie à peu près négligeable (fig. 7).

Il ne faudrait pas s'imaginer que ce schéma soit de pure imagination. Déjà il se trouve appuyé par un ensemble imposant de confirmations expérimentales. En particulier si l'on applique à ce dispositif les lois de la mécanique discontinue des quanta on peut calculer avec une très grande précision les longueurs d'ondulation de 27 raies spectrales principales émises par l'atome d'hydrogène. Ces raies seraient produites

au moment où l'électron négatif qui gravite autour du noyau central changerait brusquement d'orbite. (Atome de Bohr). Il est tout à fait remarquable qu'un modèle aussi simple permette le calcul exact d'un spectre déjà très complexe.

Atome d'hélium.—Après l'atome d'hydrogène, l'atome d'hélium serait le plus simple (fig. 8). Son noyau serait constitué par quatre électrons positifs (inertie = 4) retenus ensemble par deux électrons négatifs. Tout autour de ce noyau dont la charge

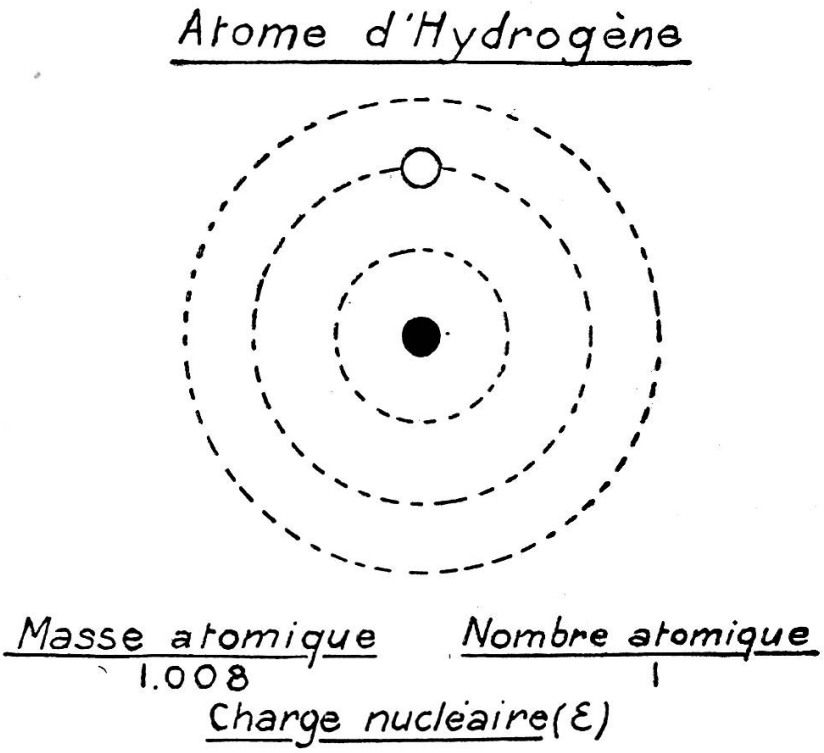

Fig. 7.

positive algébrique est $4\varepsilon - 2\varepsilon = 2\varepsilon$ graviteraient deux électrons négatifs. La mécanique de l'atome d'hélium n'est pas aussi simple que celle de l'atome d'hydrogène et les conséquences théoriques que l'on en déduit au point de vue des spectres sont en moins bonne concordance avec l'expérience.

11. L'HYPOTHÈSE DE LANGEVIN. — L'atome d'hélium semble jouer un rôle considérable dans la constitution des autres atomes. Nous savons déjà, par l'étude des corps radioactifs, que les rayons α qui sont émis dans la décomposition des atomes

radioactifs, ne sont pas autre chose que des noyaux électropositifs d'hélium. Ces noyaux paraissent avoir une extrême stabilité et peuvent être ainsi expulsés tels quels dans les désintégrations radioactives.

Cette extrême stabilité du noyau d'hélium peut trouver une explication dans une des conséquences les plus importantes du principe de relativité: l'inertie de l'énergie. L'atome d'hélium

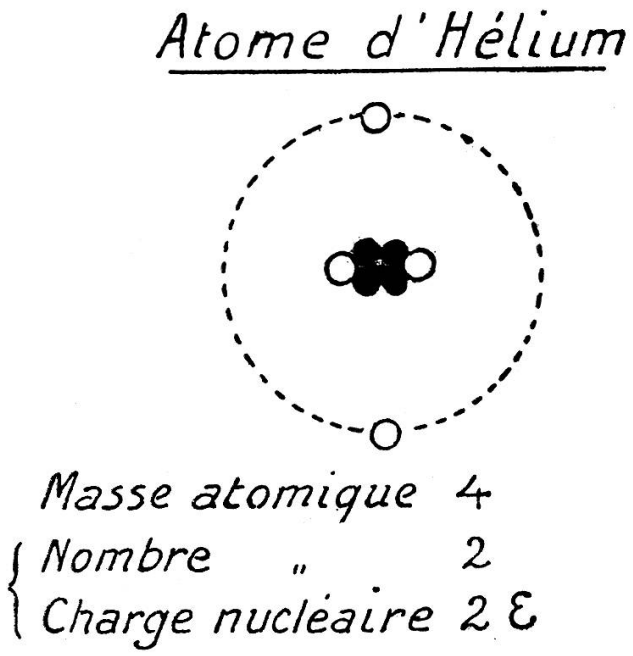

Fig. 8.

serait en réalité constitué par le groupement de quatre atomes d'hydrogène. Mais cette condensation de quatre atomes d'hydrogène en un atome d'hélium dégagerait une prodigieuse quantité de chaleur, de sorte que l'inertie initiale égale à $4 \times 1{,}008 = 4{,}03$ ne serait plus après le cataclysme que 4 —; le dégagement d'énergie calorifique atteignant 650 milliards de calories gr pour la formation de 4 gr d'hélium; la diminution d'inertie de 0,03 gr correspondrait à cette énorme dissipation d'énergie (fig. 9).

Il importe de remarquer que ce dégagement de chaleur, si grand qu'il paraisse, est cependant de même ordre de grandeur que celui qui se produit dans les désintégrations radioactives. Il ne serait que 4 à 7 fois plus considérable que celui qui corres-

pond, à masse égale, aux décompositions radioactives les plus énergiques.

L'hypothèse de Prout renaît ainsi sous une forme nouvelle et rajeunie. L'hydrogène en se condensant peut produire des atomes d'hélium, et ces noyaux très stables d'hélium en se groupant deviennent à leur tour, un élément important de la constitution des atomes plus compliqués. Il en résulte qu'en

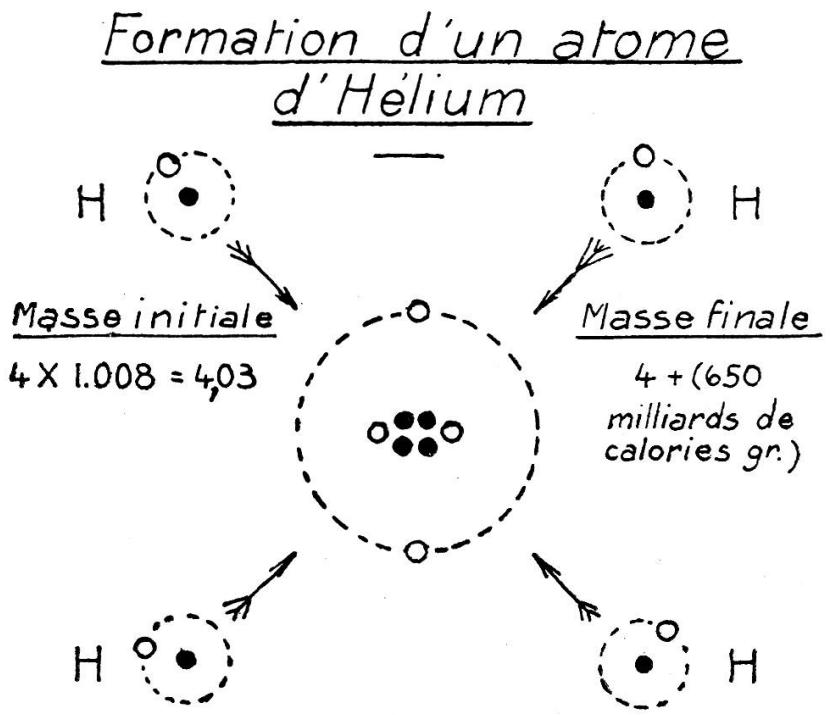

Fig. 9.

rapportant les poids atomiques à l'oxygène = 16 au lieu de les rapporter à l'hydrogène (H = 1), les masses atomiques sont très souvent des nombres entiers très exacts.

12. Détermination de la masse des atomes par les rayons canaux. Les rayons canaux sont des particules électropositives qui se produisent dans les tubes à vide et se propagent en arrière d'une cathode perforée. La fig. (10) montre le dispositif de production de ces rayons.

Or, si l'on dévie ces rayons canaux par des champs électriques et magnétiques, on peut calculer la vitesse et la masse de ces particules électropositives en mouvement et l'on reconnaît alors que dans la plupart des cas ces particules ont une

masse égale à celle que les méthodes chimiques et physico-chimiques ont permis d'attribuer aux atomes (Aston).

Le dispositif de la fig. (10) fournit ainsi une nouvelle méthode purement physique de détermination des poids atomiques.

13. Les isotopes. — Mais il arrive que pour certains éléments ainsi étudiés, lors même qu'ils ont été purifiés avec le plus grand soin, on trouve plusieurs sortes de particules ayant des masses différentes. Il semble par exemple qu'il y a plusieurs espèces d'atomes de chlore, qui tout en étant identiques par

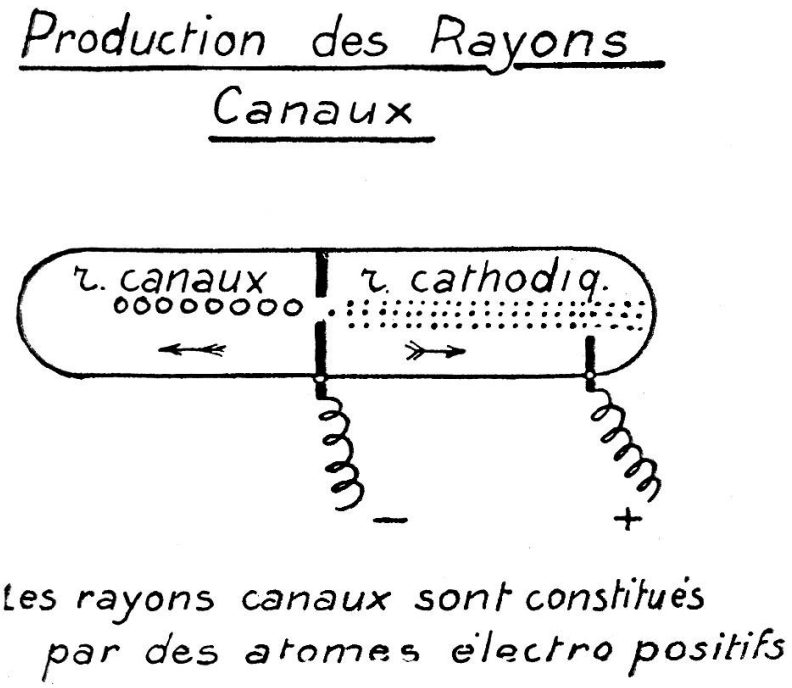

Fig 10.

leurs propriétés chimiques, diffèrent entr'eux par leur masse atomique. Ces éléments ayant les mêmes propriétés chimiques, mais des poids atomiques différents, sont appelés *isotopes*.

Pour mieux faire comprendre en quoi consiste l'isotopie, nous avons représenté fig. (11) un atome d'hélium (à gauche) et un isotope *hypothétique* de l'hélium (à droite). Le premier a une masse sensiblement égale à 4 puisque son noyau renferme quatre électrons positifs. Tandis que le second aurait une masse égale seulement à 3[1].

[1] L'existence de cet isotope est cependant affirmée comme très probable par Rutherford.

Mais ces deux corps auraient, dans les idées actuelles, des propriétés chimiques identiques, et la raison de ce fait serait que le champ électrique nucléaire dans lequel gravitent les électrons négatifs est le même dans les deux cas. En effet, dans le premier cas comme dans le second la charge nucléaire est égale à 2ε. On dit alors que le *nombre atomique* est 2 et c'est ce nombre atomique exprimant en définitive la charge nucléaire, qui, bien plus que la masse atomique, détermine les propriétés chimiques

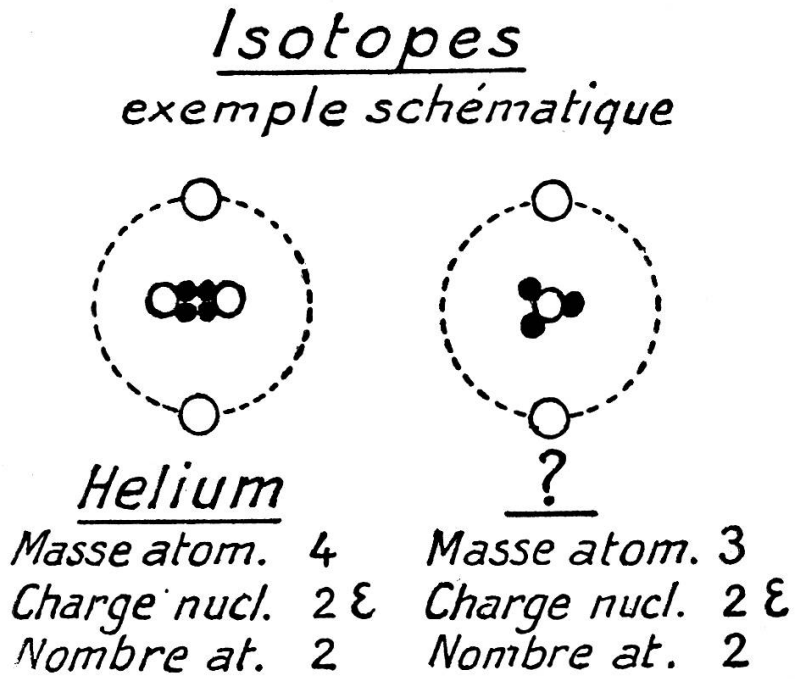

Fig. 11.

de l'atome. Le nombre atomique, voilà dans les idées actuelles, la véritable variable qui distingue au point de vue de leurs propriétés les divers atomes.

Le tableau qui suit donne d'une part les masses atomiques d'un certain nombre d'éléments déterminées par les méthodes physico-chimiques et rapportées à l'O = 16; et d'autre part ces mêmes masses atomiques, telles qu'on les déduit de l'observation de la déviation des rayons canaux avec une précision voisine déjà du millième. On sait que certains éléments, comme l'Az, le Carbone, etc. ne paraissent pas avoir d'isotopes, tandis que d'autres, comme le chlore, semblent correspondre à différents types d'atomes de poids atomiques différents, bien que leurs autres propriétés restent les mêmes.

MASSES ATOMIQUES : { H = 1,008. O = 16.

Par Physico-Chimie		*Par déviation des rayons canaux*
Ar	39.88	40 ..... 36 ?
As	74.96	75
Az	14.01	14
Bo	11.00	10, 11
Br	79.92	79, 81
C	12.005	12
Cl	35.46	35, 37 .... 39 ?
Fl	19.0	19
H	1.008	1.008
He	4.00	4.
O	*16.—*	*16*
Jo	126.92	127
Kr	87.92	78, 80, 82, 83, 84, 86
Hg	200.6	197, 200, 202, 204
Ne	20.2	20, 22 .. 21 ?
P	31.04	31
S	32.00	32
Si	28.3	28, 29, .. 30 ?
Xe	130.2	129, 131, 132, 136, 128? 130?

En résumé, un grand nombre de nos éléments chimiques, tels par exemple le chlore, le mercure, le plomb, ne seraient que des mélanges d'isotopes que nos méthodes purement chimiques sont impuissantes à séparer.

CONCLUSIONS.

Nous arrivons au terme de ce trop rapide exposé où nous avons tenté de marquer quelques-uns des points principaux de cette vertigineuse évolution de la physique moderne.

D'une part, il semble que l'explication des phénomènes physiques s'est considérablement compliquée du fait d'abord que nous voyons le discontinu se substituer partout au continu au fur et à mesure que nous pénétrons plus profondément dans l'intimité des phénomènes.

L'existence probable de ces innombrables éléments discontinus nous oblige dans beaucoup de cas à renoncer aux avantages que la notion du continu présentait particulièrement au point de vue du calcul des phénomènes. Nous nous voyons dans

l'obligation de substituer très souvent au calcul différentiel et intégral un guide moins précis; le calcul des probabilités. Dans l'impossibilité où se trouve le physicien de poser d'innombrables équations différentielles représentant la dynamique de tous ces éléments discontinus moléculaires, atomiques ou électroniques, le physicien doit s'adresser à d'autres auxiliaires; c'est alors que le calcul des probabilités si précieux dans toutes les théories cinétiques, vient à son secours. Les phénomènes physiques évoluent ainsi vers les configurations les plus probables parmi toutes les configurations possibles.

Cette façon d'envisager l'évolution physico-chimique nous conduit alors à considérer les lois de la physique et de la chimie comme des lois statistiques, et le déterminisme physico-chimique se transforme de la sorte en un déterminisme statistique, auquel la loi des grands nombres donne toutes les apparences d'une inéluctable fatalité.

Enfin le principe de relativité est venu jeter le trouble dans les notions qui nous sont le plus familières et que nous croyions les plus solidement établies.

Néanmoins, malgré tous ces éléments de complication, on a le sentiment très net que l'explication des phénomènes physiques marche vers *plus d'unité*. D'une part nous voyons, en effet, toutes les sortes de matière tendre à se réduire à deux éléments constituants primordiaux (l'électron négatif et l'électron positif) et toutes les forces de la physique et de la chimie (la gravitation exceptée) ramenées de ce fait à des forces électromagnétiques. D'autre part les deux principes fondamentaux de la conservation de la masse et celui de la conservation de l'énergie, viennent se fondre en un seul et unique principe, l'inertie et l'énergie étant inséparables l'une de l'autre.

Ce sont là des faits de la plus haute importance, qui peuvent nous consoler des difficultés et des complications qui sont venues se greffer sur les conceptions classiques de l'ancienne physique.

Ils apportent un élément d'unité que l'on peut considérer comme un progrès non seulement au point de vue physique, mais à celui de notre haute culture philosophique.