Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 102 (2023)

Rubrik: Il y a 150 ans dans le bulletin

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: 13.07.2025

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

Il y a 150 ans dans le bulletin

108 BULL. BULL. SOC. VAUD. SC. NAT. XVVIII, 87. SÉP. 1

CONTRIBUTION DE L'ASTRONOMIE
à la solution d'un problème de physique moléculaire,

par M. RAOUL PICTET.

L'étude synthétique des phénomènes thermo-chimiques, des lois de la thermo-dynamique et des expériences directes se rapportant à ces chapitres des sciences physiques, nous ont amené à considérer la *température* d'un corps comme étant l'*amplitude moyenne* des oscillations vibratoires des molécules constituant ce corps.

Cette définition, prise comme point de départ, permet d'expliquer et de déduire toutes les lois essentielles de la théorie mécanique de la chaleur. On en dégage aisément la loi de Dulong et Petit, la loi de l'isomorphisme dans les systèmes de cristallisation, les rapports qui unissent les coefficients de dilatation de tous les corps avec leur poids atomique, leur température de fusion et leur densité, etc., etc.

Les tensions maxima se calculent d'avance avec toute exactitude, enfin les deux grands principes mécaniques de la chaleur en sont une conséquence immédiate et forcée.

J'ai donc tout lieu de croire que cette définition sera adoptée, puisqu'elle satisfait aussi bien à la condition d'intégrabilité de l'équation différentielle du mouvement (fonction 5 de Zeuner) qu'à la définition tirée du thermomètre à air ou à mercure (définition de Regnault).

Dans ce cas, qu'est-ce que la *chaleur spécifique* d'un corps ? La chaleur spécifique devient la manifestation unique de l'*attraction* des molécules les unes pour les autres.

En effet, si on multiplie l'*espace parcouru* (température) par la *force moléculaire* (chaleur spécifique), on obtient la chaleur totale ou quantité de travail absolue que contient le corps.

Ici se place, par conséquent, une question importante et qui n'est nullement secondaire, ainsi qu'on l'a dit souvent : *L'attraction de la matière par la matière est-elle une propriété fondamentale, essentielle, ou n'est-elle que le résultat de l'action dynamique du milieu dans lequel elle se trouve ?*

En d'autres termes, peut-on dire que, sans qu'il soit possible de l'expliquer, la matière attire la matière sans l'intermédiaire

du milieu, ou bien : l'attraction comme force n'existe pas, elle n'est que la manifestation des chocs de l'éther qui tendent à rapprocher les corps suivant la loi newtonnienne.

Dans le premier cas, on admet le *potentiel attractif* de la matière comme un capital primitif placé dans chaque élément matériel, capital qui ne s'épuise que par le rapprochement absolu de toute la matière existant dans l'univers. Dans le second cas, ce potentiel est nul et l'on admet qu'une certaine quantité de force vive a été communiquée à l'origine des temps à la masse de l'univers, quantité de force vive qui, fatalement, se transforme sous mille combinaisons différentes dans tous les phénomènes physico-chimiques et astronomiques de la nature.

Dans le premier cas, $\frac{1}{2} m v^2 +$ le potentiel est constant.

Dans le second cas, $\frac{1}{2} m v^2$ seul est constant.

La solution de cette importante question est nécessaire pour établir d'une façon un peu nette les théories physiques et pour trouver les rapports intimes qui existent entre les divers éléments des corps.

Dans l'hypothèse où l'*attraction* est une propriété essentielle de la matière, nous l'assimilerons à l'*inertie*, et ainsi un corps quelconque posséderait comme caractères primordiaux une certaine quantité d'inertie, sans laquelle nous n'arriverions jamais à être mis en contact avec lui ni à le connaître, et une certaine quantité d'*attraction* qui serait la manifestation de son influence propre sur le reste de l'univers.

Quelles seraient les conditions d'existence de la matière dans l'hypothèse où $\frac{1}{2} m v^2$ seul est constant? L'*inertie* et le *mouvement* sont les propriétés fondamentales de la matière; les *chocs* sont les moyens de transformation des différents modes de mouvement.

Prenons donc un corps quelconque et chauffons-le. Si nous sommes partisans de la première hypothèse, celle du *potentiel*, nous devons nous attendre à trouver des rapports simples entre l'*inertie du corps considéré*, entre l'*attraction des molécules* les unes pour les autres, et entre l'*augmentation de volume du corps*, le tout associé à la quantité de travail mécanique fourni au corps sous forme de chaleur.

Les *chaleurs spécifiques*, les *chaleurs latentes* seront donc des fonctions du *poids atomique* ou *inertie* du corps et la *dissociation* qui se traduit par la *fusion* et la *volatilisation* se déduira de l'étude du corps sous ces deux points de vue : *masses* mises en mouvement et *potentiel* de ces masses.

Si nous sommes partisans de la seconde hypothèse, en admettant que $\frac{1}{2} m v^2$ est constant, nous sommes obligés absolument de considérer le *volume* des corps, c'est-à-dire la surface extérieure de la plus petite quantité de matière.

En effet, les *chocs* seuls expliquent les phénomènes, mais qui dit choc dit *surface,* où se passe le choc. Plus cette surface sera grande, plus le nombre des chocs de l'éther sera considérable, plus la réaction de la matière sera forte. Nous devons donc nous attendre, dans cette seconde hypothèse, à trouver des rapports simples entre le volume des atomes et des molécules, c'est-à-dire entre les coefficients qui représentent la densité des corps, le nombre d'atomes et le poids atomique et les chaleurs spécifiques, les chaleurs latentes et les tensions maxima.

En d'autres termes, dans la première hypothèse, la physique moléculaire s'appuiera essentiellement sur le *poids atomique* qui, en vertu de la loi de la chute des corps, représente simultanément l'idée de l'*inertie* et celle de l'*attraction,* propriétés essentielles ; dans la seconde hypothèse, les phénomènes physico-chimiques se déduiront surtout du *volume* des atomes et du *milieu* dans lequel se passent les phénomènes étudiés. Le *milieu* devenant *actif,* une variation du milieu entraînera dans les phénomènes d'attraction des variations concomitantes tout à fait indépendantes de la matière elle-même.

Les *chaleurs spécifiques* et les *chaleurs latentes* peuvent donc être des éléments variables dans une même substance et à *une même température,* suivant l'énergie mécanique du milieu où se passent les phénomènes.

Ainsi toute la physique moléculaire est intimément liée à la solution de cette question théorique.

Nous avons cherché une méthode expérimentale capable de porter quelque jour sur ce problème, et sans entrer dans des détails trop minutieux, nous allons exposer le plan de ce travail.

On peut admettre, je crois, que le système solaire est à peu près indépendant, mécaniquement parlant, du reste de l'univers, c'est-à-dire qu'aucun mouvement relativement au centre de gravité de ce système n'est produit dans nos planètes par la perturbation des autres systèmes qui nous entourent.

Nous pouvons donc appeler M la masse du système solaire total. Cette masse se décompose en m, m', m'', m''', masses respectives du Soleil, Vénus, Terre, Jupiter, etc., et μ, masse de

l'éther connue par la vitesse de propagation de la lumière et de la chaleur et par les longueurs d'ondes.

En multipliant toutes ces masses par la vitesse absolue de chaque particule relativement au centre de gravité du système solaire, on obtient le facteur $\frac{1}{2}$ M v^2 = force vive totale du système solaire.

Cette force vive constante (si l'on admet la seconde hypothèse où $\frac{1}{2}$ m v^2 est constant) ne se répartit pas dans tout le système solaire d'une manière régulière et fixe. Tantôt une planète, comme Jupiter, se trouve à l'extrémité du grand axe de son ellipse et marche plus lentement, tantôt, au contraire, sa vitesse s'accélère et passe par le maximum à une autre position de sa trajectoire.

A la même minute toutes les planètes tournent autour du soleil, les unes avec leur vitesse maximale, d'autres avec des vitesses minima, d'autres enfin avec des vitesses intermédiaires.

Nous pouvons faire *la somme* de toutes ces forces vives de l'ensemble du système solaire et différentier l'équation totale par rapport au temps. Les *variations* ainsi obtenues *pour chaque heure* élimineront naturellement toutes les *quantités de force vive constantes* représentées par la rotation des astres sur eux-mêmes, elles ne montreront que l'accroissement ou la diminution de l'ensemble des forces vives variables du système.

On pourra aisément tracer une courbe de ces variations calculée par les éphémérides des principales planètes. Jupiter jouera dans ce calcul le rôle prépondérant.

En considérant toujours la seconde hypothèse où l'attraction n'est que le résultat des chocs, il est bien évident que l'attraction manifestée par chaque planète pour les corps qui sont à sa surface sera l'écho de la force vive disponible sur cette planète. *Cette force vive sera variable suivant le jour et l'heure de l'observation.*

En effet, la force vive du système solaire *étant fixe et constante* si les planètes un certain jour absorbent dans leur propre masse une quantité maximale de force vive, la *cause de la pesanteur sur la terre* sera diminuée de tout l'excès qui s'est accumulé dans ces corps en mouvement et l'*accélération g* passera par un *minimum*. Au contraire, lorsque, quelques années plus tard, l'ensemble des planètes donnera un total de force vive minimum pour leurs masses en mouvement, la valeur de g pour les mêmes raisons devra passer pas un *maximum*.

On comprend aisément que la valeur de l'attraction terrestre

ne peut pas rester constante si la force vive disponible varie en fonction du temps et de la position respective des autres planètes. Or on peut calculer la masse totale M du système, les masses partielles et leurs vitesses variables, on trouve pour ces variations *des valeurs considérables;* donc, si l'on enregistre soigneusement les valeurs de g obtenues directement pendant des observations qui doivent durer au minimum huit ans, et si on trace une courbe des valeurs de g ainsi obtenues, on doit constater la coïncidence suivante :

La courbe des variations de la force vive totale des planètes doit être inverse de la courbe des valeurs de g *rapportées au même temps.*

Les écarts dans les maxima et les minima des deux courbes pris sur une même ordonnée, donneront la mesure de la vitesse de propagation de la force vive dans l'éther du système solaire.

Ces conclusions sont rigoureuses dans le cas où l'hypothèse $\frac{1}{2} m v^2 =$ constante est d'accord avec la nature.

Dans le cas, au contraire, où l'*attraction* est une propriété essentielle de la matière et où l'on a $\frac{1}{2} m v^2 +$ le potentiel $=$ constante, on devra trouver pour g une constante, puisque g est la manifestation unique d'un potentiel constant, étant donné que la masse de la terre est constante durant le cours des observations de g.

Il faudra donc tenir compte des perturbations de la lune pour la mesure de g ainsi que de celle du soleil, puis vérifier si ces corrections faites, g est constant.

Je crois que cette méthode expérimentale est l'unique moyen que l'on possède pour diagnostiquer avec certitude sur les propriétés essentielles de la matière et décider entre ces deux grandes théories qui sont toutes les deux défendues par des hommes d'un mérite incontestable.

Quant à la mesure de g, il y a plusieurs procédés opératoires et il serait indispensable, avant de commencer des observations, de discuter analytiquement les avantages de chacun d'eux et les modes d'inscription des valeurs obtenues. Les moyens optiques d'enregistrement, les actions mécaniques associées au mouvement des pendules et le genre de pendules feront autant de sujets importants de discussion dans le cas où l'on serait d'avis de donner suite à ces recherches, que je considère comme bien utiles pour asseoir définitivement les théories physiques.

Rétrospective

Par

Marie LABORDE

Contribution de l'astronomie à la solution d'un problème de physique moléculaire

Au XVIIIe siècle, la théorie cinétique des gaz fleurit. Bernoulli (1738), Waterson, Krünig, Clausis ont débuté les premiers travaux alors que Maxwell, Boltzmann (Gladstone, 1946) et finalement Einstein (1905) ont formalisé mathématiquement et quantifié les observations. Cette théorie engendre alors un changement complet de paradigme et la redéfinition de la température d'un corps. Selon cette théorie, la température d'une substance devient la représentation de l'agitation des molécules. Plus précisément, la température est proportionnelle à l'énergie cinétique moyenne avec laquelle les molécules de la substance se déplacent ou vibrent (Reif, 2000).

Dans l'article revu ici, l'auteur pointe du doigt une conséquence de ce changement de paradigme : la chaleur spécifique d'un corps devient alors la manifestation de l'attraction des molécules entre elles. Il en découle une question fondamentale : « l'attraction de la matière est-elle une propriété fondamentale ou seulement le résultat de l'action dynamique du milieu où elle se trouve ? »[1]

L'auteur expose deux possibilités, soit le potentiel attractif de la matière est intrinsèque à celle-ci et s'annule lorsque toute la matière est concentrée en un point, soit le potentiel est nul et la force vive (l'énergie cinétique) des molécules est communiquée à l'origine des temps. Dans le premier cas, l'énergie cinétique varie et le potentiel est constant :

Alors que dans le deuxième cas, c'est l'énergie du système qui demeure constante :

L'auteur propose alors d'étudier le système solaire (considéré comme isolé) et d'observer la variation de la constante gravitationnelle sur Terre (G) en fonction du temps. Il propose l'analyse suivante :

- Si le potentiel attractif est une propriété de la matière, G devrait être constant puisque la masse de la Terre ne varie pas.
- Si le potentiel est nul et que la force vive du système est constante, alors G doit varier car les vitesses des planètes au sein du système solaire varient en fonction du temps. Les variations de la force vive du système doivent être inversement corrélées avec la variation de G.

L'auteur propose alors de mesurer G en fonction du temps, de chercher une corrélation avec l'évolution des vitesses des planètes du système solaire pour finalement valider une des deux hypothèses.

[1] La théorie de l'éther n'a pas encore été abandonnée. Le terme « milieu » fait donc ici référence à l'éther gravitationnel. Selon cette théorie, l'éther remplissait l'espace et permettait la transmission de la force gravitationnelle.

Correspondance : marie.laborde@eduvaud.ch

Cet article fût traduit et publié dans le journal *Nature* et commenté par A. S. Herschel également dans *Nature* (Herschel, 1882). Herschel valide la première hypothèse à l'aide d'expériences. Il écrit seulement que son expérience ne « […] conduit pas à la conclusion théorique que la force apparente de gravitation sur une planète dépendra directement et variera en fonction des vitesses variables des mouvements des autres planètes dans le système solaire, mais qu'elle sera un effet constant du milieu éthéré. » (Herschel, 1882).

Les détails expérimentaux ne seront pas publiés mais il précise que son expérience est « fondée sur une chaîne de raisonnement tout à fait indépendante de celle employée par M. Pictet » (Herschel, 1882).

R. Pictet et A. S. Herschel se questionnent donc sur la nature de l'attraction gravitationnelle. Newton lui-même ne pouvait pas expliquer l'attraction mutuelle de deux corps distants, il ne savait pas comment elle pouvait être véhiculée, il n'a fait que la constater : « J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes célestes et ceux de la mer par la force de gravitation, mais je n'ai assigné nulle part la cause de la gravitation. (...) Je n'ai pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravité, et je n'imagine point d'hypothèse » (Newton, 1756).

Chaque génération de physiciens et physiciennes a tenté, avec les outils physiques et mathématiques de leurs époques, de comprendre la nature de l'attraction gravitationnelle et de la réduire à quelque chose de plus fondamental. La notion même de ce qui est fondamental ayant évolué avec le temps, les concepts du modèle standard ont également dû évoluer.

Georges-Louis Le Sage, au xviiie siècle, fût un des premiers à émettre l'idée de corpuscules gravitationnels. Il postule l'existence d'une mer de corpuscules ultramondains (provenant d'outre Terre), ruisselant dans toutes les directions et caractérisés par une masse infime, une grande vitesse et une inélasticité totale (Le Sage, 1784). L'intensité du flux de particules est supposée être isotrope, de sorte qu'un objet isolé A ressent une pression dirigée vers l'intérieur. En présence d'un second objet B attenant à A, une fraction des particules qui auraient autrement frappé A depuis la direction de B est interceptée, de sorte que B fonctionne comme un bouclier. Les deux corps agissent comme des boucliers mutuels de sorte les deux corps sont poussés l'un vers l'autre par le déséquilibre des forces.

S'en suit de nombreuses études lors du xixe siècle, toutes basées sur les caractéristiques connues expérimentalement de l'attraction gravitationnelle. Certain·e·s scientifiques poursuivent l'idée de particules alors que Faraday en 1830 introduit le concept de champ magnétique, mais surtout gravitationnel (Robinson, 2023). Grâce à ce concept, il explique enfin comment l'attraction gravitationnelle peut être ressentie à distance : le champ créé par une première masse préexiste en tout point de l'espace avant l'introduction d'une seconde masse (Deparis, 2011). L'attraction peut donc être décomposée en deux processus bien distincts, n'affectant qu'un seul corps à la fois : un processus actif, lorsque chaque corps émet un champ gravitationnel qui ne dépend que de ses caractéristiques physiques, et un processus passif, lorsque chaque corps subit le champ créé par les autres corps à l'endroit de l'espace où il se trouve (Lecourt, 1999).

Faraday déplace donc le problème, il ne s'agit plus de comprendre comment une masse peut agir à distance sur une autre masse, mais comment cette masse peut modifier les propriétés de l'espace.

30 ans après les expériences de Faraday, Maxwell publie ses fameuses quatre équations reliant les champ électriques, magnétiques et décrivant leur propagation à la vitesse de la lumière (Maxwell, 1865). Puis c'est au tour d'Einstein de publier son article sur la relativité restreinte (Einstein, 1905). Cette théorie, aujourd'hui amplement prouvée et acceptée, est basée sur

l'invariance de la vitesse de la lumière avec le référentiel. La théorie de la relativité restreinte remet en question le concept de temps absolu. Le temps et l'espace deviennent liés et les deux varient lorsque le référentiel se déplace à une vitesse proche de celle de la lumière. Einstein démontre également qu'il n'existe aucune possibilité de concilier cette observation avec l'existence de l'éther comme support des champs électromagnétiques et gravitationnels. C'est la fin de l'éther décrit dans l'article de Pictet.

Einstein ne s'arrête pas là et parvient à inclure l'attraction gravitationnelle dans sa théorie de la relativité générale (Einstein, 1916). Il imagine alors la gravitation, non plus comme une force, mais comme une modification de la structure inertielle de l'espace-temps. La présence d'une énergie (d'une masse), courbe l'espace, mais aussi le temps ! Selon Einstein, la Terre donne l'impression de contourner le Soleil par une ellipse, alors qu'elle suit en réalité une ligne droite dans un espace-temps déformé.

En parallèle, la physique des particules (et quantique) se développe sur les bases du quantum de Planck. Les quatre forces fondamentales sont décrites dans la théorie quantique par l'échange de bosons : les photons pour l'interaction électromagnétique, les gluons pour l'interaction forte, les bosons lourds Z, W^+, W^- pour l'interaction faible et le graviton pour l'interaction gravitationnelle. Alors que les trois premiers bosons (photons, gluons, lourds) ont été découverts respectivement en 1903, 1979 et 1983, le graviton ne l'a toujours pas été ! La raison de cela est *a priori* sa très faible interaction devant les autres interactions. (Lincoln, 2014)

La physique quantique est en contradiction avec la relativité générale d'Einstein et une nouvelle théorie pour unifier ces deux « mondes » est encore à découvrir. Deux principales candidates sont explorées à l'heure actuelle : la théorie des cordes et la théorie de la gravitation quantique à boucles.

Une chose est sûre, la question de la nature de l'attraction gravitationnelle posée par Pictet dans cet article n'est pas encore résolue !

Bibliographie

Bernoulli, 1738. *Hydrodynamica, sive de Viribus et Motibus Fluidorum commentarii. Opus Academicum.* sumptibus Johannis Reinholdi Dulseckeri.

Deparis V., 2011. *Évolution historique du concept de gravité, troisième partie : Huygens, Maupertuis, Faraday, Einstein.* Récupéré sur https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/histoire-gravite-3-Huygens-Einstein.xml

Einstein A., 1905. Investigations on the theory of the brownian movement. *Annalen der Physik,* 17: 549.

Einstein A., 1905. Zur Elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik,* 322: 891-921.

Einstein A., 1916. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 354: 769–822.

Gladstone S., 1946. *Textbook of Physical Chemistry.* D. Van Nostrand company.

Herschel A. S., 1882. Raoul Pictet's Corpuscular Theory of Gravitation. *Nature,* 26: 342-343.

Le Sage G. L., 1784. Lucrèce Newtonien. *Nouveaux Memoires de L'Academie Royale des Sciences et Belles-Lettres.* Berlin.

Lecourt D., 1999. *« Champ » Dictionnaire d'histoire et de philosophie des sciences.* PUF.

Lincoln A., 2014. *What Are Gravitons ?* Récupéré sur https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/what-are-gravitons/

Maxwell J. C., 1865. A dynamical theory of the electromagnetic. *Royal society publishing,* 155: 459 - 512.

Newton I., 1756. *Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle.* Sceaux.

Reif F., 2000. *Cours de Berkeley tome 5 de Mécanique Statistique.* DUNOD.

Robinson F. N., 2023. *Faraday's discovery of electric induction*. Consulté en 2023, sur https://www.britannica.com/science/electromagnetism/Faradays-discovery-of-electric-induction