

La pression de radiation

Autor(en): **Mercanton, P.-L.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **47 (1911)**

Heft 174

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-287538>

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.

LA PRESSION DE RADIATION

*Adresse présidentielle lue à l'Assemblée générale de Nyon,
le 24 juin 1911,*

par **M. P.-L. MERCANTON**

MESDAMES ET MESSIEURS,

S'il avait eu l'honneur d'ouvrir cette séance, non pas en 1911, mais il y a quelque cinquante ans, votre président, contraint par un usage rigoureux de donner en Assemblée générale d'être l'exemple de l'application, eût été certes moins embarrassé que je ne le fus hier pour choisir un sujet.

Rompu aux artifices de la rhétorique, congrûment frotté d'humanités grecques et latines, habile à dissenter aimablement *de omni re scibili et quibusdam aliis*, il eût pris sans hésiter pour objet de son dire la belle contrée, la ville intéressante où nous sommes réunis. Egalemeut versé dans la connaissance des hommes et des choses, tour à tour poète, historien et naturaliste, il vous eût, relevant son discours de citations virgiliennes ou bibliques, dit le charme de ce pays, la vertu de ses habitants et l'agrément de son séjour. Devant ses monuments il eût évoqué les légions de César et exalté la grandeur de l'empire; puis, sous l'égide de Pline et d'Aristote il eût pareillement décrit ses animaux et ses plantes et les ressources de son sol et les tumultes de son atmosphère. Enfin, maître de son art, dans une péroraison non sans grandeur, il eût adroitement opposé, par dessus le plateau vaudois, le lac à la montagne.

Ainsi eussiez-vous passé des instants agréables. Hélas! les gens de science du XX^e siècle apprennent peu le grec et n'entendent plus guère le latin réfugié dans la pharma-

copée et aux étiquettes des spécimens. Les humanités deviennent, *triste dictu*, le lot de quelques privilégiés pourvus de sagesse ou de rentes.

Un siècle de travail incessant au laboratoire et sur le terrain de l'exploration géographique, ont fait à la science d'aujourd'hui, en l'enrichissant sans mesure, ce visage sévère, exigeant, noblement renfrogné, qui intimide l'encyclopédiste et confond le dilettante.

Le temps n'est plus où la nature était pour le chercheur comme une mine exploitable à ciel ouvert. Longtemps chacun a pu y tailler de-ci de-là sans cesser d'apercevoir l'ensemble du gisement et d'avoir sans trop de fatigue l'accès de tous ses points. Aujourd'hui les fouilles se sont creusées, le labeur s'est fait plus ingrat, il faut descendre dans la galerie chaque jour plus profonde. Le savant comme le mineur devient dans son travail un isolé. Sous peine de gâcher le peu de temps que la vie lui accorde, il ne peut attaquer avec fruit des veines éloignées; il n'a plus de loisirs pour courir de filon en filon. Heureux s'il peut encore quelquefois jeter, par quelque transversale voisine, un coup d'œil fugitif sur les chantiers de ses compagnons d'œuvre!

Voilà pourquoi, simple ouvrier moi-même dans le gisement immense de la physique expérimentale, je ne puis ici que vous conduire, à la lueur de ma faible lampe, dans quelqu'un de ces recoins, le plus attrayant que j'aie su. Voici pourquoi aussi, travailleurs comme moi, mais à d'autres filons, vous auriez le droit de ne pas me suivre, et peut-être plus de profit à remonter au jour respirer le grand air de la flânerie.

Il y a peu d'années encore point n'eût été besoin de faire l'exégèse du terme *radiation*. Fresnel en ruinant la conception corpusculaire de la lumière, élaborée par Newton, avait porté un coup décisif, semblait-il, aux théories expliquant le rayonnement par un transport de particules discrètes.

On en était arrivé à ne point concevoir de radiations qui

ne fussent la propagation dans un milieu déterminé, l'air pour le son, l'éther pour la lumière, d'un mouvement vibratoire. Le rayon lumineux était devenu pour le physicien le type de la radiation.

Cependant l'étude des décharges électriques dans les gaz raréfiés et, plus près de nous, la découverte de la radioactivité devaient, immanquable retour des conceptions humaines, remettre en vigueur cette notion, si dédaignée, de radiation par transport de substance, par bombardement particulaire, et à l'heure actuelle, il est devenu nécessaire de distinguer entre ces deux genres de radiations fort différents.

D'un côté, voici des radiations constituées par des corpuscules excessivement déliés, animés dans le même sens de vitesses considérables et se suivant à la file, tous porteurs de charges électriques identiques.

De l'autre côté voilà des radiations qui empruntent à un milieu son élasticité et son inertie et se présentent comme une série ininterrompue d'ébranlements rythmés des éléments de ce milieu, et se propageant d'un élément à l'autre.

Le premier groupe renferme les rayons anodiques et cathodiques des tubes évacués, les rayons α et β des substances radioactives.

Le second groupe comprend presque toutes les autres radiations à nous connues, rayons hydrodynamiques, rayons sismiques, acoustiques, optiques, électriques.

Exception doit être faite pour les rayons de Röntgen, non classés encore, mais qui rentreront vraisemblablement aussi dans le deuxième groupe.

De quel type qu'elles soient d'ailleurs, les radiations sont toutes des manifestations de cette énergie qui nous semble régir le monde physique et en conditionner les phénomènes. La radiation, c'est de l'énergie qui se transporte.

Mon intention est de vous entretenir d'une conséquence

quelque peu inaccoutumée de ce transport, *la pression de radiation*.

La notion d'une pression due au rayonnement, immédiate quand elle s'applique à des radiations du premier groupe, est plus lointaine pour les radiations de caractère vibratoire.

Le mérite d'invention en remonte à Képler (1619), puis à Maxwell; Bartoli et Boltzmann la fondèrent sur les assises larges de la thermodynamique. Lord Rayleigh, Altberg, Lebedef, Poynting, etc., l'établirent définitivement sur les bases de l'expérimentation.

C'est de ces résultats expérimentaux que je parlerai ici, réservant le plus de mon temps à leur indication, quelque peu aussi aux conséquences qu'on tirerait de la notion nouvelle en physique cosmique.

De la pression dans le cas des radiations par transport de particules j'aurai peu à dire :

Qui ne voit, du premier abord, qu'une série de chocs rapides de masses identiques, identiquement dirigés sur le même élément de surface, équivaut à l'application à cet élément d'un effort continu.

Chaque particule radiante possède une masse m et, au moment de toucher l'obstacle où je supposerai qu'elle s'engloutit, une vitesse v . Elle représente donc une quantité mv de mouvement. Si pendant le temps t il est parvenu ainsi à l'obstacle N particules identiques, la quantité totale de mouvement aura été Nmv . Le quotient de cette grandeur par le temps t est une force. C'est l'effort exercé par le bombardement corpusculaire.

Si celui-ci intéresse également toute la surface S de l'obstacle, chaque point subira la pression $\frac{Nmv}{St}$ qui est la *pression de la radiation*.

Si les particules rebondissaient contre l'obstacle au lieu de s'y immobiliser, la pression prendrait une valeur double.

Chacun de nous a pu constater l'existence de cette pression lorsque pendant un orage les chocs serrés de grosses gouttes de pluie ou de grêlons alourdissaient son parapluie. La veine d'eau du robinet en heurtant l'évier lui fait éprouver une telle pression et pareillement la lance du doucheur au corps de son patient.

Fenzl a réalisé un dispositif de démonstration où des billes d'acier toutes pareilles, tombant une à une et de la même hauteur sur un plateau de balance lui confèrent une poussée permanente, capable d'équilibrer le poids de plusieurs grammes.

Je puis d'ailleurs présenter la chose autrement encore.

Chaque particule transporte la quantité $\frac{m}{2} v^2$. L'ensemble livre à l'obstacle pendant l'unité de temps $\frac{N m v^2}{2 t}$ qui exprime la puissance de la radiation. Mais cette puissance est homogène au produit d'une force et d'une vitesse. Si cette vitesse est égale à v , la force sera l'effort total de la radiation sur l'obstacle : $f = \frac{N m v^2}{2 t \cdot v}$. Cet effort réparti sur la surface S , représentera la pression de radiation.

La dite pression s'écrira donc, en définitive,

$$p = \frac{1}{2} \frac{N m v^2}{S t v}$$

Mais $S v t$ est justement le volume V renfermant les particules qui dans le temps t atteignent, à la vitesse v , l'obstacle de surface S . D'autre part $\frac{1}{2} N m v^2$ c'est l'énergie E des particules occupant le dit volume. On a donc :

$$p = \frac{1}{2} \frac{N m v^2}{v s t} = \frac{E}{V} = \varepsilon$$

La pression de radiation a pour valeur numérique le quotient de l'énergie transmise par le volume qu'elle occupe ou densité d'énergie ε .

Nous retrouverons pour la deuxième catégorie de radiations la même expression analytique.

Mais auparavant signalons encore à titre d'exemple les forces exercées par le choc des radiations cathodiques dans les tubes à vide. Un moulinet léger placé sur le trajet des particules négatives expulsées par la cathode dans un tel tube est mis en rotation par le bombardement incessant de ces projectiles dont la masse ne diffère pourtant guère de $1/2000$ de celle d'un atome d'hydrogène, mais dont la vitesse atteint plusieurs dizaines de milliers de kilomètres par seconde.

Venons-en maintenant aux radiations de nature ondulatoire. L'existence d'une pression de leur part est moins directement reconnaissable, les raisonnements qui la démontrent sont moins simples; l'expérience pouvait difficilement la laisser apercevoir et son rôle a été plutôt d'en vérifier la découverte faite *a priori*. Cependant l'observation des effets puissants de la vague marine eût pu conduire à reconnaître cette pression et y aurait conduit plus tôt, si, au rivage même, où l'observation est la plus aisée, le déferlement des flots n'introduisait de grandes complications. J'y reviendrai tout à l'heure. Rendons-nous compte premièrement qu'un mouvement ondulatoire, en se propageant dans un milieu, transporte de l'énergie.

Pour cela reprenons un instant les raisonnements faits plus haut sur les radiations du premier type et remarquons qu'on en eût déduit exactement les mêmes effets sur l'obstacle en supposant les particules parfaitement élastiques et se transmettant intégralement leur énergie par une série de chocs de corpuscule à corpuscule, dépouillant le corpuscule choquant au profit du corpuscule choqué. La même énergie totale fût parvenue à l'obstacle, y engendrant la même pression. C'est d'ailleurs de considérations pareilles que l'on déduit dans la théorie cinétique des gaz, la pression de ceux-ci contre les parois qui les maintiennent.

Dans le mode de propagation ondulatoire ce ne sont pas des chocs mais bien des réactions élastiques résultant des déplacements des particules vibrantes qui opèrent la transmission d'énergie. Tout déplacement rythmique d'une particule autour de sa position de repos, en modifiant sa situation par rapport aux particules voisines, provoque de proche en proche des déplacements pareils obéissant au même rythme.

Les particules vibrent selon des trajectoires fermées variables, planes en général, et qui, en régime permanent, dépendent essentiellement des propriétés du milieu. Le mouvement s'y propage suivant une direction déterminée par rapport au plan de la vibration: c'est la direction du rayon. Ainsi les ondes sonores se transmettent suivant la direction même des trajectoires rectilignes des molécules dont pour cette raison les vibrations sont dites longitudinales. Dans l'éther en revanche les oscillations se propagent suivant la normale au plan de vibration; elles sont transversales. Enfin les molécules d'eau, dans une vague, décrivent des orbites elliptiques ou circulaires dans le plan vertical de la marche de l'onde.

Le profil longitudinal d'une vague est le lieu des molécules d'eau superficielles intéressées à la propagation. La plus courte distance entre deux molécules du profil qui sont au même instant dans la même phase de leur mouvement est précisément la longueur de la vague ou longueur d'onde. Cette définition de la longueur d'onde peut être appliquée à des ondes de toute nature. La longueur d'onde λ est liée à la durée T de la vibration d'une particule ou période par la relation $\lambda = V T$, où V est la vitesse de propagation du mouvement ondulatoire. Il est clair que du fait de son mouvement chaque molécule renferme une provision d'énergie. Elle transmet cette quantité à la particule suivante, en même temps qu'elle en reçoit l'équivalent de la particule antéjacente. Cette énergie particulière est ainsi transportée

de proche en proche. Les particules dont l'ensemble forme une onde renferment une quantité d'énergie déterminée, tout entière échangée quand l'onde a progressé de sa longueur même. Enfin, s'il ne s'agit pas d'une seule file, mais de plusieurs files de particules, l'énergie totale est augmentée d'autant. Il se peut, d'ailleurs, que le mouvement de ces particules conjointes, tout en ayant la même période, n'ait pas la même amplitude. C'est le cas, en particulier de l'ensemble des molécules d'eau dans une vague. On trouve que les dimensions des orbites qu'elles parcourent vont en décroissant à mesure qu'on s'enfonce sous la surface libre.

Quant à l'énergie ondulatoire elle est proportionnelle au carré de l'amplitude de la vibration et inversement proportionnelle au carré de la longueur d'onde. On voit qu'à égalité d'amplitudes la plus courte de deux ondes renferme la plus grande énergie. Si donc on parvenait à raccourcir, à tasser un rayon sur lui-même, cela ne saurait s'obtenir qu'au prix d'une augmentation correspondante de l'énergie convoyée par les ondes.

Nous touchons aux raisonnements divers et délicats par lesquels, à la suite de Larmor, on est parvenu non seulement à établir théoriquement l'existence d'une pression de radiation mais encore à l'évaluer analytiquement. Je ne puis songer à les reproduire ici ; je me bornerai à énoncer leur conclusion commune : « la pression de radiation est numériquement égale à la densité de l'énergie vibratoire dans le milieu contigu à la surface irradiée ¹ ». Mais l'énergie varie dans ce milieu selon que la surface réfléchit ou non la radiation. Si elle réfléchit intégralement l'énergie reçue (coefficient de réflexion $r = 1$) et la renvoie ainsi dans le milieu contigu, la densité d'énergie s'y trouve dou-

¹ La densité de l'énergie est le rapport de l'énergie totale des particules vibrantes au volume qu'elles occupent.

blée. La pression sur la surface est donc deux fois plus grande que sur une paroi parfaitement absorbante ($r = 0$). Si le coefficient de réflexion est compris entre 0 et 1 la pression, intermédiaire, répond à la formule $p = \varepsilon(1 + r)$ où ε est la densité d'énergie du milieu vibrant seul, débarrassé de tout obstacle.

Sur un écran mobile suivant la direction du rayon, la pression est augmentée ou diminuée selon que l'écran chemine à l'encontre de la radiation ou avec elle.

En quittant la source, la radiation exerce sur celle-ci une réaction également exprimée par $p = \varepsilon$. Cette réaction est indépendante du mouvement de la source s'il est uniforme (Lémeray).

Nous pouvons passer maintenant aux confirmations expérimentales que ces considérations théoriques ont reçues.

En ce qui concerne les radiations hydrodynamiques, houle ou vagues de vent, il n'a pas été fait, que je sache, de mesures; leur difficulté serait grande. Il faudrait pouvoir dresser en pleine eau une paroi verticale étendue et assez solide pour supporter le choc des vagues les plus énergiques. En divers points de cette paroi fixe on ménagerait des panneaux mobiles en relation avec des dynamomètres qui mesureraient l'effort exercé. Un calcul approché montre que des vagues de houle de 5 mètres de hauteur et 175 m. de longueur, en eau profonde et pour la couche superficielle de 10 mètres d'épaisseur, exerceraient une pression moyenne de 1580 kg. par mètre carré sur une paroi absorbante, et de 3160 kg. sur une paroi parfaitement réfléchissante.

Je calcule également que les plus grosses vagues du Léman (longueur 35 m., amplitude 1 m. 70, Forel) engendreraient, pour la couche superficielle de 2 m. d'épaisseur des pressions de 175 à 350 kg. par mètre carré suivant la nature de l'obstacle. Il s'agit, bien entendu ici de l'eau profonde, le déferlement des vagues à la côte où l'énergie on-

dulatoire subit une concentration, donnerait à la pression des valeurs bien plus fortes (on a mesuré jusqu'à 35 tonnes par mètre carré au bord de la mer) mais qui échappent à notre prévision.

Altberg, par des procédés délicats basés sur le principe expérimental énoncé tout à l'heure, a mesuré la pression des ondes sonores aériennes. Ces ondes, longitudinales, empruntent pour se former la compressibilité de l'air, et représentent des alternances régulières de contraction et de dilatation du milieu gazeux.

Au centre d'une cloison fixe une ouverture était pratiquée. Un panneau de bois mobile suspendu à une balance de torsion l'obstruait. En agissant sur le fil de suspension de la balance, Altberg équilibrait l'effort exercé sur le panneau obturateur par les ondes sonores émanées d'un tube de verre vibrant. Il obtenait ainsi une mesure absolue, tout à fait objective, de l'intensité du son. Les résultats expérimentaux ont bien confirmé les prévisions de la théorie.

Mais les travaux les plus remarquables, parce que les plus délicats, ont été faits sur les ondulations de l'éther, non pas, à vrai dire, sur les grandes ondes de Hertz : elles requerraient des appareils démesurés, mais au contraire sur les ondes déliées constituant le rayon lumineux et dont la longueur est de l'ordre du millionième de mètre.

Dans ce domaine-là les difficultés d'expérimentation sont énormes car l'effet cherché est très petit et les causes de perturbation sont très grandes. Il ne peut être question d'opérer à l'air libre ; un vide très parfait est indispensable. Les moindres résidus gazeux dans un récipient pourtant très bien évacué provoquent le déploiement de ces forces particulières qui entraînent le radiomètre de Crookes. L'effet radiométrique masquerait celui de la pression de radiation. En outre, il faut pouvoir concentrer sur l'appareil déceleur l'énergie de sources lumineuses très intenses. Songez qu'un rayon solaire exercerait au sommet du

Mont-Blanc et sur un réflecteur plan parfait de 1 m² un effort moindre que 1,4 milligramme, soit une pression inférieure à 140 milliardième de gramme par centimètre carré.

Lebedef est parvenu le premier à mesurer la pression de radiation et la Société vaudoise des Sciences naturelles peut s'honorer d'avoir eu, dans sa séance du 17 mai 1899 et de la bouche même de son auteur, presque la primeur de la remarquable découverte. Pointyng, Nichols et Hull y ont réussi également. Leurs appareils comportent essentiellement des disques minces, argentés ou noircis, montés aux extrémités d'une traverse horizontale légère suspendue à une fibre de quartz dans un vide très parfait. La pression des radiations concentrées sur les disques les force à reculer en tordant le fil de quartz. La pression se déduit de cette torsion. Quant à l'énergie envoyée aux disques elle est mesurée par des procédés calorimétriques que force m'est bien de passer ici sous silence.

Cette expérience fondamentale a inspiré des variantes nombreuses et importantes. C'est ainsi que Poynting a confirmé expérimentalement l'existence de la réaction exercée sur la source même par les radiations qu'elle émet et qui se traduit par un recul de la surface d'émission. Ce fait, dûment établi, suggère un moyen nouveau d'étudier la phosphorescence d'un corps. On voit en effet que si un disque de l'appareil de Lebedef était recouvert de la substance phosphorescente sur une face et d'argent sur l'autre, il suffirait d'activer la face phosphorescente puis de l'abandonner à elle-même pour qu'une réaction d'émission se manifeste qui s'abolirait graduellement. L'équipage, dévié d'abord, regagnerait peu à peu sa position initiale, et l'allure de son retour mesurerait la décroissance de l'émission phosphorescente. Le procédé n'est d'ailleurs pas limité aux seules phosphorescence visibles. Or on sait (Stokes) que les radiations de phosphorescence sont toujours de plus grande longueur d'onde que les radiations

excitatrices ; peut-être quelque substance manifesterait-elle la phosphorescence pour les rayons des plus grandes longueurs d'ondes connues. Cette phosphorescence correspondrait à des longueurs plus grandes encore. On restreindrait ainsi la lacune qui sépare les ondes optiques les plus longues des ondes électriques les plus courtes. La faiblesse de l'émission phosphorescente fait craindre malheureusement que la méthode soit pratiquement inapplicable.

Poynting a démontré aussi l'existence d'une composante tangentielle de la pression de radiation pour un rayon oblique. Un disque de mica suspendu horizontalement à une fibre de quartz tourne dans son propre plan si un faisceau lumineux le frappe obliquement et excentriquement. En renversant le sens de la radiation on renverse celui de la rotation.

Enfin, si, par des agencements optiques appropriés, on force un rayon lumineux à changer de direction en l'envoyant, par exemple, dans une prisme de verre délicatement suspendu dans le vide, on constate réellement les déviations que le calcul a prédéterminées.

Avant de passer au dernier point de cet exposé, permettez-moi de suggérer encore l'expérience suivante : soit un milieu colloïdal, une fausse solution de particules solides dans de l'eau. Laissons-la reposer. Leur poids l'emportant sur la poussée ces particules se déposeront peu à peu. Faisons agir de haut en bas sur la solution un faisceau lumineux énergétique, sa pression secondant la pesanteur devra accélérer le dépôt. Elle devra le retarder au contraire si le même faisceau est dirigé de bas en haut. La différence d'état de deux portions identiques du liquide, soumises simultanément à ces conditions opposées, doit devenir sensible. On peut se demander seulement s'il sera possible d'éviter les influences troublantes de la convection thermique.

Mesdames et Messieurs, laissez-moi, pour terminer, vous faire entrevoir quelques-unes des conséquences pos-

sibles de la pression de radiation, non plus pour nos appareils de laboratoire mais pour le monde où nous gravitons.

Lebedef, Schwarzschild, Arrhenius, etc., ont appliqué la nouvelle notion à la physique de notre système solaire, d'une manière conjecturale évidemment, mais plausible et vraiment attrayante.

Le soleil exerce sur les masses pondérables éparses autour de lui l'attraction newtonienne que bien vous connaissez; mais son rayonnement intense doit soumettre aussi ces mêmes masses à des actions répulsives. Seulement, tandis que l'attraction est proportionnelle à la masse du corps, la répulsion dépend de sa seule surface. Il y a pour chaque corps un rapport déterminé entre celle-ci et celle-là. Pour une sphère l'effet répulsif est proportionnel à la surface d'un grand cercle.

Comme, d'autre part, attraction et répulsion sont toutes deux inversement proportionnelles au carré de la distance au soleil, le rapport entre l'action répulsive des radiations et celle attractive des masses est constant dans tout l'espace. Ce rapport, insignifiant pour les sphères astrales grosses, augmente rapidement quand leur diamètre diminue.

Pour le mieux voir, divisons la terre en sphères de rayon moitié moindre; le volume de ces sphères sera le $\frac{1}{8}$ du volume primitif, mais la surface totale aura doublé et avec elle le rapport des forces agissantes, répulsion à attraction. On conçoit qu'en poussant la division, il soit possible d'équilibrer l'attraction newtonienne par la répulsion radiare. Ceci se produirait pour des particules de densité égale à celle de l'eau et de quelque 0,75 micron de diamètre (longueur d'onde de la lumière rouge). Des particules plus ténues seraient repoussées indéfiniment hors de notre système.

Abandonnons-les à leur sort et appliquons les considérations ci-dessus à des objets moins infimes.

Soit un essaim de météorites de diamètres divers gravitant dans nos parages en ordre serré; le rapport répulsion à attraction différant suivant la taille des constituants du groupe et la résultante des deux forces variant conséquemment de l'un à l'autre, il arrivera fatalement que ces pierres ne parcourront pas leurs orbites toutes dans le même temps. Les moindres marcheront le plus lentement. Ainsi une particule de $\frac{1}{100}$ de millimètre mettra deux jours et demi de plus que la terre à faire la même révolution complète. L'essaim se dispersera peu à peu le long de l'orbite commune.

Cet effet sera compliqué d'un autre, régi par le principe de Doppler et qui a pour résultat d'arrondir l'orbite si elle est elliptique. Quand le corps se rapproche du soleil il rencontre, en effet, dans un temps donné un plus grand nombre d'ondes que lorsqu'il s'en éloigne. La répulsion est augmentée dans le premier cas et diminuée dans le second; la marche du corps en est dans l'un et l'autre cas ralentie et l'excentricité de son orbite est en fin de compte diminuée.

Mesdames et Messieurs, j'ai bien peur que certains d'entre vous n'aient, au cours de ce long exposé, envié le sort des petites particules et leur facilité à se soustraire à l'insistance d'une radiation indiscreète. Vous avez bien voulu résister à la tentation de les imiter et je dois vous remercier de votre indulgente attention. J'ai dit.
