Quelques expériences sur la pression de la lumière

J.-H. Poynting

▶ **To cite this version:**

J.-H. Poynting. Quelques expériences sur la pression de la lumière. J. Phys. Theor. Appl., 1910, 9 (1), pp.657-671. 10.1051/jphystap:019100090065700 . jpa-00241582

HAL Id: jpa-00241582
https://hal.science/jpa-00241582

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

QUELQUES EXPÉRIENCES SUR LA PRESSION DE LA LUMIÈRE (1) ;

Par M. J.-H. POYNTING.

Les premiers essais pour mettre en évidence la pression de la lumière ont été faits au XVIIIe siècle par les philosophes qui acceptaient la théorie que la lumière se compose de corpuscules matériels projetés par la source lumineuse. Pour ces philosophes, c'était une conclusion naturelle, que le bombardement d'un corps par les corpuscules qui composeraient la lumière exerce une poussée en arrière ; et, d'après leur théorie, la pression par centimètre carré devait être égale à deux fois l'énergie cinétique des corpuscules par centimètre cube, — ce qui est deux fois la valeur réelle de la pression actuellement mesurée. Si ces anciens expérimentateurs avaient su calculer la densité de l'énergie cinétique dans le faisceau lumineux à l'aide de la chaleur développée par un corps absorbant, ils auraient compris combien la pression cherchée était petite, et ils n'auraient pas été étonnés du peu de succès de leurs efforts.

Le premier essai pour démontrer que *les ondes* exercent une pression a été fait par Euler en 1746 (2). Je pense que son raisonnement ne s'appuie pas sur des preuves convaincantes, et le peu d'attention que sa théorie a reçu n'est pas surprenante. Mais, il n'est pas sans intérêt maintenant d'observer qu'il croyait que la pression de la lumière du Soleil sur les petites particules d'une comète les repoussait du Soleil, et formait ainsi la queue de la comète.

Depuis Euler en 1746, c'est Clerk-Maxwell qui, en 1874 (3), donna la première théorie définitive et raisonnable en prouvant que la lumière exerce une pression sur une surface quelconque, en tombant sur elle.

Il démontra que, si la lumière se compose d'ondes électromagnétiques, elle doit exercer sur une surface sur laquelle elle tombe normalement une pression par centimètre carré égale à l'énergie contenue dans 1 centimètre cube du faisceau. En d'autres termes, la pression égale la densité de l'énergie.

(1) Conférence faite à la Société française de Physique, le 31 mars 1910.
(2) *Hist. de l'Acad. roy. des sciences et belles-lettres*, Berlin, 1746, p. 117.
(3) *Electricity and Magnetism*, vol. II, § 792.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphystap:019100090065700

Peu après, Bartholi (1), par une application de la thermodynamique, démontra que des ondes du type lumière doivent exercer une pression. La preuve ne dépend d'aucune hypothèse particulière sur leur nature.

Sir Joseph Larmor (2) a mis cette preuve sous une forme aussi précise que simple, et je me propose de prouver, par sa méthode, comment la radiation issue d'une source doit presser contre elle.

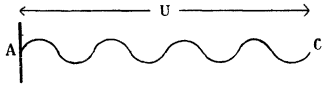

FIG. 1.

Soit A (*fig.* 1) un centimètre carré en repos, qui émet un faisceau de radiation avec énergie E par centimètre cube selon la normale sur A. Soit AC (égal à U) la distance traversée en chaque seconde, et soit n le nombre d'ondes issu par seconde qui occupent l'espace AC. La longueur de chaque onde est λ, si bien que $n\lambda = U$. L'énergie en AC égale EU.

Maintenant, supposons que A soit amené en avant avec une vitesse v, de sorte que dans une seconde il parcourt une distance AB égale à v (*fig.* 2).

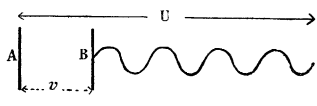

FIG. 2.

Les n ondes émises par seconde sont maintenant comprises dans la longueur BC égale à $U - v$, et, si la longueur d'ondes actuelle est λ', nous avons :

$$n\lambda' = U - v.$$

Mais

$$n\lambda = U,$$

et ainsi

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{(U - v)}{U}.$$

(1) *Exner Repertorium der Physik*, XXI, 1885, p. 198.
(2) *Encyclopœdia Britannica*, XXXII : *Radiation*.

Maintenant, nous supposerons que l'amplitude des ondes émises est la même, que A soit en repos ou en mouvement. Avec des ondes du type lumière, la densité de l'énergie est en raison inverse du carré de la longueur d'ondes quand l'amplitude est la même.

Donc, si E′ est la densité de l'énergie dans le train BC,

$$E' = \frac{E\lambda^2}{\lambda'^2} = \frac{EU^2}{(U - v)^2},$$

et l'énergie par longueur $U - v$, c'est-à-dire en BC, égale

$$E' (U - v) = \frac{EU^2}{U - v}.$$

Maintenant, nous ferons une supposition de plus, c'est que A verse la même quantité d'énergie qu'il soit en repos ou en mouvement, c'est-à-dire que le flux de son énergie ne dépend que de sa température.

Donc, A émet EU par seconde. Puisque BC contient $\frac{EU^2}{U - v}$, et que A a versé seulement EU, il faut qu'une quantité additionnelle d'énergie

$$\frac{EU^2}{U - v} - EU^2 \qquad \text{qui est égale à} \qquad \frac{EUv}{U - v}$$

soit donnée, d'une façon ou d'une autre, au faisceau par le mouvement de A. Cette énergie ne peut être donnée, à moins qu'il y ait une force qui fasse résistance au mouvement de A, c'est-à-dire que *le faisceau, en sortant de* A, *doit presser contre* A.

Si la pression est P,

$$Pv = \frac{EUv}{U - v}$$

et

$$P = \frac{EU}{U - v}.$$

Si v égale zéro (c'est-à-dire si A est en repos) :

$$P = E \text{ (la densité de l'énergie)}.$$

En négligeant le carré de $\frac{v}{U}$, nous aurons :

$$P = E\left(1 + \frac{v}{U}\right),$$

où P est un peu plus grand quand A avance, et un peu plus petit quand A recule.

La radiation presse en arrière contre la source d'où elle sort, et, conséquemment, la source presse en avant contre le milieu. Autrement dit, elle donne au milieu une quantité de mouvement égale à P par seconde. Cette quantité de mouvement donnée par seconde est répandue sur une longueur U, de sorte que la quantité de mouvement, par centimètre cube des ondes, égale :

$$\frac{P}{U} = \frac{E}{U}.$$

Cette quantité de mouvement est portée en avant par le faisceau, et, quand la lumière tombe sur une surface, la quantité de mouvement se rend à la surface, c'est-à-dire que la lumière presse contre une surface qui la reçoit.

En considérant le cas d'un réflecteur parfait, il est aisé de démontrer que, pour que l'on puisse se rendre compte de l'énergie additionnelle dans le faisceau réfléchi, quand la surface avance, il est nécessaire que le faisceau presse contre elle avec une force $P = E$.

Le raisonnement est tout à fait semblable à celui que je viens d'indiquer pour évaluer la pression contre la source.

Il est un peu plus difficile d'établir ce qui se passe dans le cas plus général, quand la source rayonne dans toutes les directions, mais la pression peut s'évaluer toujours par une modification de la même méthode.

Ainsi nous arrivons à la conception d'un faisceau de lumière comme porteur d'une quantité de mouvement. Il reçoit une quantité de mouvement de la source. Il porte cette quantité à travers l'espace, et il la livre à un corps quelconque qui l'absorbe.

Les ondes lumineuses, donc, possèdent une quantité de mouvement aussi certainement que les corpuscules lumineux des théories de nos ancêtres. Mais cette quantité n'est que la moitié de celle qu'il faudrait attribuer aux corpuscules.

Ce n'est pas mon intention aujourd'hui de décrire les belles expériences de Lebedef (1) et de Nichols et Hull (2). Il suffit de dire qu'ils ont vérifié la théorie en dirigeant un faisceau de lumière sur un disque suspendu, et qu'ils ont prouvé, avec une exactitude surpre-

(1) *Annalen der Physik*, 4 folge, Bd 6, 1901, p. 433.
(2) *Proc. American Academy of Arts and Sciences*, XXXVIII, 1903, p. 559.

nante, que la force avec laquelle le disque était pressé en arrière égalait l'énergie par centimètre de la longueur du faisceau, — surprenante si nous nous rappelons que l'énergie par centimètre cube de pleine lumière du soleil, et aussi la pression qu'il exerce, n'est jamais plus que $\frac{6}{10^5}$ d'un milligramme, ou environ 6 grammes par hectare.

Les deux grandes difficultés que l'on rencontre pour mesurer une pression si petite sont les courants de convection et l'action radiométrique. Lebedef suspendait son disque dans un vide si poussé que les courants de convection n'existaient plus, et que l'action radiométrique commençait à disparaître.

MM. Nichols et Hull opéraient avec une pression beaucoup plus grande, une pression de 1 ou 2 centimètres de mercure, cette région remarquable où les courants de convection cessent à peu près, tandis que l'action radiométrique est à peine commencée.

Je désire vous décrire quelques expériences faites par mon collègue, le Dr Barlow, et moi, dont quelques-unes ont été suggérées par l'idée qu'un faisceau de lumière peut être regardé comme un courant de quantité de mouvement.

La première expérience[1] prouve qu'un faisceau, en tombant obliquement sur une surface qui l'absorbe, exerce une force parallèle à la surface.

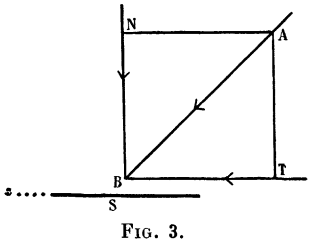

FIG. 3.

Soit AB (*fig.* 3) un rayon de lumière qui tombe obliquement sur une surface noire S. Il possède une quantité de mouvement dans la direction AB, et cette quantité est livrée à la surface.

Représentons cette quantité de mouvement par la longueur AB, et décomposons-la en NB selon la normale et TB selon la surface. NB presse la surface, mais cette pression n'a pas d'effet si la surface

[1] *Phil. Mag.*, IX, 1905, p. 169.

ne peut pas se porter en arrière. Mais, si elle est libre de se déplacer dans son propre plan, TB la fera glisser.

Pour essayer s'il en est bien ainsi, nous avons suspendu deux petits disques, l'un noir, et l'autre argenté. Les disques avaient environ 2 centimètres de diamètre, et la tige qui les portait avait 5 centimètres de longueur. Ils étaient suspendus par un fil de quatre dans une boîte, comme le montre la *fig.* 4, et la pression de l'air avait été réduite à environ 1 centimètre.

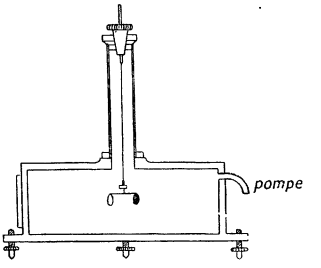

FIG. 4.

Un miroir était fixé à la tige, et on regardait l'image de l'échelle dans une lunette.

Quand on dirigeait un rayon de lumière, provenant d'une lampe Nernst sur le disque noir à 45°, il tournait d'un angle à peu près égal à celui calculé d'après l'énergie et la quantité de mouvement dans le faisceau. On évalua cette énergie en faisant tomber le faisceau sur une lame d'argent de poids connu. La lame avait été noircie pour absorber la lumière, et on observait la vitesse avec laquelle sa température montait. Quand le faisceau était dirigé sur la surface argentée, elle se mouvait à peine. Car, quoique le faisceau incident lui donnât une poussée en avant, le faisceau réfléchi donnait une poussée égale en arrière.

Mais cette forme de l'expérience, si simple qu'elle soit en théorie, est très difficile en pratique, à cause de perturbations produites par la convection et par l'action radiométrique. A moins que les deux disques ne soient parfaitement verticaux, et que la normale par le centre de chacun d'eux ne passe exactement par l'axe de suspension, il est très possible que les perturbations tournent l'appareil, d'une façon ou d'autre, et plus que ne le ferait la force due à la lumière. L'appareil exige une construction très précise et un réglage très soigné.

Nous avons fait l'expérience sous une autre forme d'une exécution plus facile (1). Nous avons suspendu un disque noir (*fig.* 5), d'un diamètre d'environ 5 centimètres, par un fil de quartz, de façon que le disque soit horizontal. On le mit dans une boîte vitrée, et la pression de l'air était de 1 ou 2 centimètres.

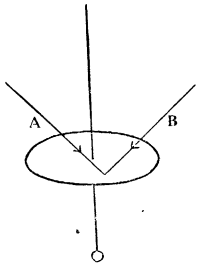

FIG. 5.

Quand un faisceau de lumière A était ainsi dirigé à 45° sur une petite étendue près de la circonférence du disque, la force lumière parallèle à la surface tendait à le tourner. Mais la surface s'échauffait par la lumière, et les courants de convection et l'action radiométrique entraient en jeu.

A moins que le disque ne soit parfaitement horizontal, ces forces tendent aussi à faire tourner le disque, et la direction de ce mouvement dépend de la direction de la pente.

Nous avons observé l'angle total dû à l'action de l'air échauffé et à la force lumière horizontale.

Puis, nous avons dirigé le même faisceau sur le même espace à 45° de l'autre côté de la normale (B, *fig.* 5). La quantité de chaleur absorbée était la même. Donc, l'action de l'air échauffé était la même en grandeur et en direction. Mais la force lumière horizontale s'était renversée. Donc, la différence des deux écarts était le double de celui dû à la force lumière d'un seul faisceau.

Cette méthode nous a donné des résultats très constants, n'importe où que le faisceau tombât sur le disque, même lorsque l'action de l'air échauffé surpassait plusieurs fois celle de la lumière. La force, attribuable à la lumière, se trouva à peu près égale à celle calculée d'après l'énergie dans le faisceau.

(1) *Nature*, vol. LXXV, 1906, p. 91.

Nous mesurions encore celle-ci en la faisant tomber sur un disque d'argent noirci et en mesurant l'échauffement du métal par seconde.

Une autre expérience peut être expliquée par un modèle.

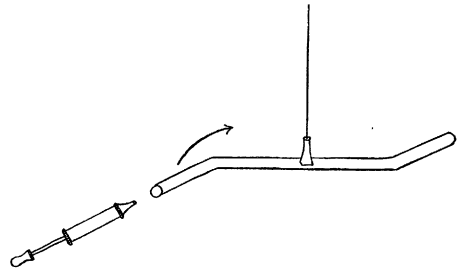

FIG. 6.

Voici un tuyau courbé (*fig.* 6) suspendu de façon à être dans un plan horizontal. Si je souffle un courant d'air à travers le tuyau, il doit faire tourner les angles. En faisant tourner chaque angle, il presse vers l'extérieur et par conséquent, le tuyau se met à tourner. Le même effet justement s'observe si nous changeons la direction d'un courant de lumière, et la *fig.* 7 montre comment on peut réaliser l'expérience (1).

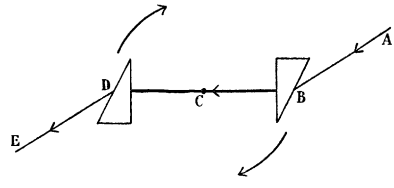

FIG. 7.

La figure représente en plan deux petits prismes de verre aux bouts d'une tige suspendue par un fil de quartz dans une boîte où l'on a fait le vide. Le rayon est dévié deux fois puis il sort parallèlement à sa direction primitive. Quand la direction de son mouvement primitif vient à changer, une force est exercée vers l'extérieur contre le prisme aussi certainement que s'il y avait un courant de matière.

En envoyant un rayon de lumière à travers les prismes disposés de cette manière, nous avons trouvé qu'ils tournaient, et que, à

(1) *Phil. Mag.*, IX, 1905, p. 404.

quelques centièmes près, le déplacement était égal à celui que l'on peut calculer d'après l'énergie et la quantité de mouvement contenues dans le faisceau.

Cette expérience est intéressante parce qu'elle sert à faire comprendre un fait que je me bornerai à indiquer sans démonstration (1).

Quand un rayon tombe sur un milieu réfringent plus dense, la force exercée sur le milieu réfringent due au changement de direction est dirigée vers l'extérieur, le long de la normale, et de cette manière on obtient un couple agissant sur les deux prismes.

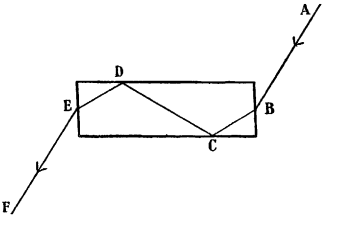

FIG. 8.

Une autre forme de l'expérience (2) est expliquée par la *fig.* 8. Un petit bloc de verre rectangulaire était suspendu comme auparavant dans la boîte où on fait le vide, et un rayon de lumière était envoyé à travers le bloc, comme dans la figure. Le bloc, lui aussi, se mettait à tourner. Comme je l'ai dit, la force à l'entrée est dirigée selon la normale, et par conséquent son moment par rapport à l'axe de suspension est nul. De même pour le moment à la sortie. Donc, les forces produisant le couple sont produites aux deux points de réflexion totale à l'intérieur.

Dans chacune de ces deux expériences, nous pouvons raisonner de la manière suivante : Un courant de quantité de mouvement se propage parallèlement à lui-même, et cela ne peut se faire qu'au moyen d'un couple. Le système suspendu fait agir ce couple sur la lumière, et la lumière fait agir un couple égal et contraire sur le système suspendu.

Dans les expériences de Lebedef et de Nichols et Hull, et dans les expériences que je viens de décrire, on cherche la pression de la lumière contre un corps sur lequel elle tombe.

---

(1) *Phil. Mag.*, IX, 1905, p. 401.
(2) *Loc. cit.*, p. 402.

Mais, dans l'essai que je faisais pour prouver que la lumière transporte une quantité de mouvement, je suis arrivé à la conclusion que la lumière, ou, plus généralement, le rayonnement, presse sur la source dont il sort.

La dernière expérience que je décrirai est celle par laquelle nous avons réussi à prouver l'existence de cette pression (1).

Comme un canon recule en sens contraire du projectile qu'il lance, de même un corps lumineux recule devant la lumière qu'il émet.

L'expérience est nécessairement un peu indirecte, parce que nous ne pouvons par produire la chaleur à l'intérieur du corps lui-même. Seulement nous pouvons l'échauffer en faisant tomber un rayonnement sur lui. L'énergie radiante se convertit en chaleur, la température du corps monte, et puis, la chaleur sort de nouveau sous la forme d'un rayonnement.

Supposons qu'un rayonnement tombe sur une surface d'une lame noircie sur les deux faces, il échauffe la lame. Si elle est très mince, elle est à peu près à la même température partout. En régime permanent, elle émet toute l'énergie incidente, moitié sur une face moitié sur l'autre. Donc, les pressions des rayonnements sortants sont égales et contraires, et ne produisent aucun effet. Ainsi, nous n'avons que la pression, soit P, du rayonnement incident.

Maintenant, prenons une lame noire d'un côté, et parfaitement réfléchissante de l'autre, et faisons tomber un rayonnement sur le côté noir. Au régime permanent de température, la lame émet autant de rayonnement qu'elle en reçoit. Mais le côté postérieur est un réflecteur parfait, et, par suite, n'émet point de rayonnement. Donc, tout le rayonnement est émis par la surface antérieure. S'il était émis entièrement selon la normale, il produirait une pression P égale à celle de la lumière incidente. Mais il sort dans toutes les directions selon la loi des cosinus, et il est aisé de prouver qu'il ne produit qu'une pression égale à $\frac{2}{3}$ P.

C'est pourquoi la pression totale est $\frac{5P}{3}$.

Dans l'expérience, nous avons employé quatre disques préparés comme suit : noir et noir, noir et argenté, argenté et argenté, argenté et noir.

---

(1) *Proc. Roy. Soc.*, Bakerian Lecture, March 17, 1910.

Les pressions sur ceux-ci devraient être :

$$P, \quad \frac{5P}{3}, \quad 2P, \quad 2P,$$

supposé que le noir soit parfaitement noir et l'argent parfaitement réfléchissant ; mais aucune de ces suppositions n'est permise.

Et puis, bien que nous ayons suspendu les disques dans un flacon dans lequel on a fait le vide aussi parfait que possible, il y avait une petite action radiométrique due au gaz résiduel, et cette action était plus grande sur le disque noir-noir, et tendait à le presser en arrière.

Les disques étaient faits d'une couche d'asphalte fondu et pressé entre deux lames minces circulaires, de verre. Ils étaient d'un diamètre de $1^{cm},2$ et d'une épaisseur d'un dixième de millimètre. L'épaisseur de l'asphalte était aussi environ d'un dixième de millimètre.

Les surfaces argentées se faisaient en déposant de l'argent d'une cathode d'argent.

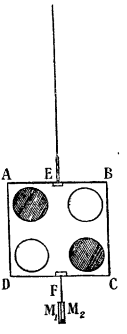

FIG. 9.

Puis, les disques furent fixés dans des trous dans une lame de mica, comme on voit dans la *fig.* 9, le centre de chacun étant à 1 centimètre de l'axe. Enfin, nous les avons suspendus dans un flacon dans lequel le vide était poussé aussi loin que possible.

Il n'est pas nécessaire de vous expliquer ici tous les détails de la méthode employée pour faire le vide. Il suffit de vous dire que le flacon (*fig.* 10) a été rempli d'oxygène et vidé plusieurs fois, qu'il a été scellé en S_2, et vidé définitivement en entourant le ballon C_2, qui contient du charbon, d'air liquide bouillant.

La *fig.* 11 représente l'appareil en plan. S est une lampe, L_1 une lentille. La lentille L_2 forme une image de L_1 sur le disque. B est une lampe et C une échelle permettant de mesurer le déplacement par réflexion du miroir M (*fig.* 9). La force correspondante a été calculée au moyen du temps d'oscillation et du moment d'inertie.

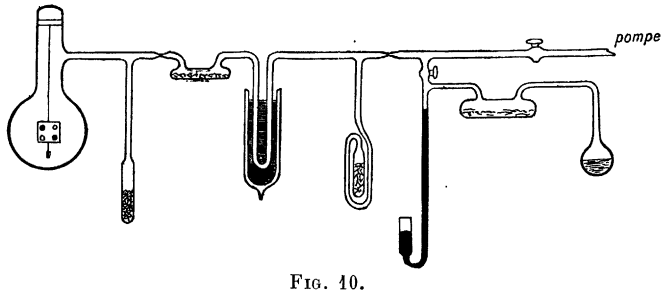

FIG. 10.

L'énergie du faisceau incident, qui était maintenue toujours constante, a été mesurée en le faisant tomber sur une lame d'argent noircie, et cette énergie était telle qu'elle devait produire, sur une surface entièrement absorbante, une pression donnant 13,6 divisions sur l'échelle. Les résultats d'un nombre d'expériences ont été les suivants :

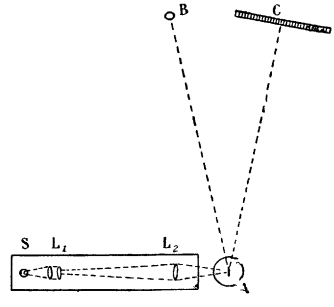

FIG. 11.

Les nombres, dans la première ligne, sont calculés en supposant un pouvoir réfléchissant par N de 5 0/0 et par A de 95 0/0 :

	NN	NAstèt	AA	ANstét
Calculé.....	14,3	22,0	26,5	26,1
Observé.....	16,1	22,3	28,7	28,0

Sans perturbation par le gaz résiduel, nous aurions dû trouver les valeurs calculées.

Je ne doute pas que l'action radiométrique, qui atteint une valeur maximum avec le disque noir-noir, ne soit la cause de l'excès de 16,1 sur 14,3.

Mais j'espère que nous sommes d'accord, que les résultats prouvent définitivement que le rayonnement issu de la surface noire du second disque le presse en arrière.

S'il n'y avait pas de pression de cette sorte, la force sur ce disque-là serait la même que celle sur le premier disque. Mais les expériences démontrent qu'elle est 1,4 fois de celle sur le premier disque et 0,8 fois celle sur le disque argent-argent, et ce dernier résultat s'accorde étroitement avec la théorie.

En somme, il nous est permis d'affirmer que la lumière reçoit une quantité de mouvement de la source dont elle sort, qu'elle porte cette quantité de mouvement avec elle à travers l'éther (ou quel que soit le milieu qui ondule), et qu'elle la livre à n'importe quelle surface sur laquelle elle tombe.

Les forces dues à la pression de la lumière sont si minimes, de l'ordre d'un cent millième de *dyne* dans les expériences que je viens de décrire et les perturbations dues au gaz, même dans le meilleur vide, sont si grandes qu'il faut des années de pratique pour vaincre les difficultés et pour produire des résultats certains et décisifs.

Ici, sur la surface de notre Terre, et dans notre atmosphère, la pression de la lumière est peu de chose. Mais, dans l'espace entre le Soleil et ses planètes, où il y a un vide beaucoup plus poussé que tous ceux que nous savons produire, elle a un libre essor, et elle peut produire sur les corps petits de grands effets à travers les âges, mais négligeables dans le cas de grands corps comme notre Terre.

La pression entière de la lumière du Soleil sur la Terre n'est que 70.000 tonnes. Cela paraît grand, mais la gravitation due au Soleil est quarante trillions de fois plus grande.

Pourtant, si le rayon du corps soumis à l'action de la lumière est réduit, la raison de la pression-lumière à la gravitation monte en proportion, de sorte que, sur une sphère d'un diamètre de quarante trillionième de celui de la Terre, c'est-à-dire d'environ $\frac{3}{10^5}$ centimètres et de la même densité que la Terre, la pression de la lumière égalerait la gravitation. Si la sphère était encore plus petite, la pression

de la lumière serait plus grande que la gravitation, et pousserait la particule hors du système solaire.

Et voilà une des explications des queues des comètes.

Mais je voudrais appeler votre attention sur l'action de la lumière solaire sur des particules un peu plus grandes, des particules telles que celles qui révèlent leur existence par leur mort dans notre atmosphère sous la forme d'étoiles filantes.

Supposons qu'une telle particule, de diamètre, disons de 1 centimètre, de la densité de la Terre, et noire de façon à absorber la lumière solaire entièrement, fasse le tour du Soleil à la même distance que la Terre. La gravitation sera opposée à la pression-lumière, et la vitesse de la particule nécessaire pour la maintenir dans son orbite sera plus petite que celle de la Terre, de sorte qu'elle demandera 36 minutes de plus pour compléter sa révolution, ou bien encore son année sera de 36 minutes plus longue que la nôtre.

Plus la particule est petite plus l'effet est grand. C'est pourquoi une particule d'un diamètre d'un millième de 1 centimètre exigera 36.000 minutes, ou 60 heures, ou deux jours et demi de plus par an.

Un autre effet de la pression de la lumière est qu'elle donne lieu à une force qui s'oppose au mouvement de la particule.

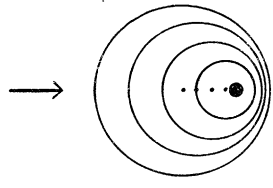

FIG. 12.

La particule est échauffée par le Soleil, et, à la distance de la Terre, sa température serait à peu près la même que la température moyenne de la surface de la Terre, soit 300° absolus, ou 27° C. ; donc, elle émet du rayonnement de tous les côtés. Mais les ondes de devant sont plus courtes, tandis que celles de derrière sont plus longues, comme le montre la *fig.* 12, dans laquelle les points représentent les positions successives de la particule et les cercles, les ondes successives émises. Ainsi, il y a plus d'énergie par devant que par derrière, plus de pression contre la surface antérieure que contre

la surface postérieure ; donc, une force qui empêche le mouvement. L'accélération due à cette force est en raison directe de la vitesse, et en raison inverse du rayon de la particule. Il s'ensuit que la particule perd de l'énergie. Elle en rayonne plus qu'elle en reçoit, et elle se transporte vers le Soleil.

Une sphère de la densité de la Terre, noire afin d'absorber la lumière du Soleil totalement, et d'un diamètre de 1 centimètre, s'approchera du Soleil de 1.640 mètres pendant la première année. Ce mouvement continuera, et je calcule que dans quarante-cinq millions d'années environ elle parviendra au Soleil.

Avec des particules plus petites, l'action est plus rapide, et une particule d'un diamètre du millième de 1 centimètre, en mouvement d'abord presque dans un cercle à la distance de la Terre, décrira une spirale qui finira sur le Soleil en quarante-cinq mille ans à peu près.

Le Soleil a horreur de la poussière. Avec la pression de sa lumière il repousse les particules les plus fines loin de son système. Avec sa chaleur il échauffe les particules plus grandes. Celles-ci rendent cette chaleur, et avec elle une partie de l'énergie qui les met à même de résister à son attraction.

Peu à peu, il les tire vers lui-même, et enfin elles tombent sur le Soleil. Elles sont brûlées. Elles cessent d'avoir une existence séparée.