

VÉRIFICATION EXPÉRIMENTALE DU PRINCIPE DE DOPPLER-FIZEAU;

Par MM. H. BUISSON et CH. FABRY.

Le mouvement relatif de la source et de l'observateur conduit, en optique, à de très petites variations de longueur d'onde à cause de la très grande vitesse de la lumière. Aussi, la vérification du principe de Doppler-Fizeau n'est-elle facilement abordable que lorsqu'on s'adresse à des vitesses déjà considérables, telles que celles que présentent les corps célestes. Les observations astronomiques ont, depuis longtemps, permis de vérifier ce principe, soit dans le cas où la source et l'observateur ont un mouvement relatif, soit dans celui où il s'agit d'un corps diffusant mobile. On sait quel large champ de recherches a été ouvert par l'introduction de telles mesures en astrophysique.

Il n'y a donc aucune raison de douter de l'exactitude du principe de Doppler-Fizeau. Il peut être, cependant, d'un certain intérêt de le vérifier par des expériences de laboratoire, dans lesquelles les vitesses soient connues sans aucune incertitude. Un certain nombre d'expériences ont déjà été faites dans ce but, avec des moyens plus ou moins bien appropriés. On va les énumérer rapidement.

La plupart de ces expériences ont été faites en laissant la source et l'observateur fixes, et en faisant réfléchir la lumière plusieurs fois sur des miroirs mobiles. Les conditions à remplir sont les suivantes : vitesses de déplacement aussi grandes que possible ; analyse de la lumière au moyen d'un appareil dispersif très puissant, pouvant déceler de très faibles variations de longueur d'onde ; emploi de radiations aussi parfaitement monochromatiques que possible, afin que les très petites variations de longueur d'onde soient observables.

En 1901, Bélopolsky (1) a essayé de faire une vérification en se servant d'un spectrographe astronomique à trois prismes composés, muni d'une chambre photographique de 1^m,75 de foyer. La source de lumière était le soleil, et l'observation portait sur le déplacement des raies noires. Avant de parvenir à la fente du spectrographe, la lumière subissait un certain nombre de réflexions sur des miroirs

(1) BÉLOPOLSKY. On an apparatus for the laboratory demonstration of the Doppler-Fizeau principle. *Astrophysical Journal*, t. XIII, p. 15 ; janvier 1901.

fixés à la périphérie de deux disques tournants, dont la vitesse linéaire pouvait atteindre 80 mètres par seconde. Les deux roues tournent en sens inverse, et la lumière subit six réflexions, dont trois sur un miroir qui se rapproche de l'observateur et trois sur un miroir qui s'en éloigne. On opérait, par photographie, dans la région $\lambda = 4.400$. Malgré l'emploi de la lumière solaire (très intense mais très mal adaptée à de telles mesures), la pose nécessaire pour obtenir une photographie du spectre était de trente minutes. Les mesures semblaient manifester un déplacement des raies, tout juste perceptible, dans le sens prévu par la théorie.

En 1907, Galitzin et Wilip⁽¹⁾ ont repris ces mesures, en utilisant les mêmes miroirs mobiles, mais en prenant un autre appareil dispersif et une autre source de lumière. L'appareil dispersif était un échelon de Michelson ; comme source de lumière on se servait d'une lampe à vapeur de mercure. On faisait les mesures sur des clichés photographiques, obtenus soit avec la raie verte ($\lambda = 5.461$), soit avec la raie violette ($\lambda = 4.358$) ; des temps de pose allant jusqu'à une heure étaient nécessaires, et il fallait prendre des précautions minutieuses pour se mettre à l'abri de l'effet des changements de température pendant un temps aussi long. Les vitesses déduites du déplacement des raies coïncident à quelques pour cent près avec celles que donne la mesure directe.

Comme on le voit, ces expériences sont délicates et exigent un équipage compliqué de miroirs tournants. En employant les moyens dont on dispose maintenant, nous avons pu, au commencement de 1914, montrer et mesurer le phénomène de Doppler-Fizeau à l'aide d'un dispositif assez simple pour que l'expérience puisse constituer une manipulation d'élève⁽²⁾. C'est ce dispositif que nous allons décrire.

(1) Prince B. GALITZIN and J. WILIP. Experimental test of Doppler's principle for light-rays. *Astrophysical Journal*, t. XXVI, p. 49 ; juillet 1907.

(2) Notre dispositif a été décrit en 1914, dans une courte note publiée dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CLVIII, p. 1498, séance du 25 mai 1914.

En 1917 et 1918, M. Majorana, qui ne connaissait pas nos expériences, a publié deux notes sur le même sujet. Dans la première (*C. R.*, t. CLXV, p. 424, 1^{er} octobre 1917), il décrit une expérience analogue à la nôtre, dans laquelle toutefois l'effet Doppler-Fizeau est produit par plusieurs réflexions sur des miroirs mobiles. L'effet est constaté par interférence, en employant comme nous l'avons fait la lumière de l'arc au mercure et une différence de marche de 130 millimètres. Dans la seconde note (*C. R.*, t. CLXVII, p. 71, 8 juillet 1918), est dé-

Pour éviter les difficultés qu'il y a à faire tourner rapidement la source de lumière ou même des miroirs, nous avons pris comme objet mobile un corps diffusant ; on est alors dans un cas analogue à celui qui se présente dans l'étude de la rotation des planètes. La *fig. 1* représente, en projection horizontale, le schéma de l'appareil.

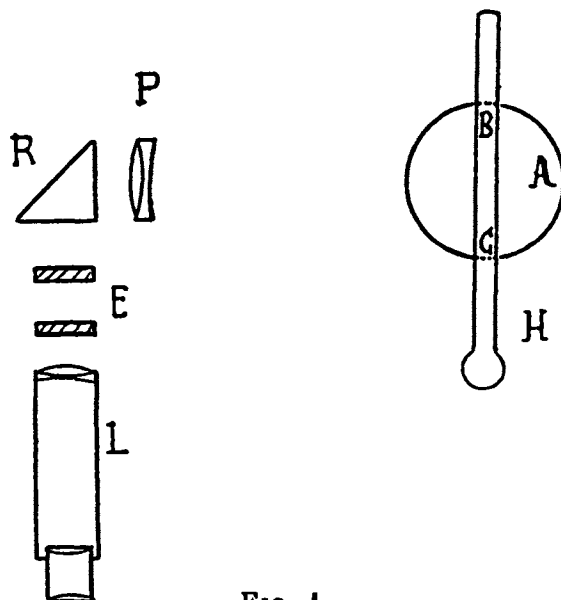


FIG. 1.

L'objet mobile est un disque horizontal A de papier blanc, de 16 centimètres de diamètre, mis en rotation rapide autour de son axe vertical ; il était, pour cela, monté sur l'axe d'une écrémeuse à force centrifuge, petit appareil dont la manivelle est mue à la main et qui, au moyen d'une multiplication de mouvement par engrenages, donne une vitesse de rotation d'environ 200 tours par seconde. Cette grande vitesse est obtenue sans difficulté, grâce à la légèreté du disque entraîné. Les points du bord se déplacent ainsi avec une vitesse de 100 mètres par seconde. La source de lumière est une lampe Cooper Hewitt à vapeur de mercure, consistant en un tube lumineux de 60 centimètres de long, placé horizontalement en H au-dessus d'un diamètre BC du disque. Chacun des points B et C

crité une expérience dans laquelle c'est la source de lumière elle-même qui est montée sur le disque tournant.

M. Majorana a présenté ses expériences comme démontrant certains résultats relatifs à la théorie de la lumière ou à celle de la relativité. En réalité, de l'exactitude du principe de Doppler-Fizeau, on peut déduire certaines conséquences au point de vue de la théorie de la lumière, mais les expériences de M. Majorana, comme celles de Bèlopolsky, de Galitzin et les nôtres, ne sont pas autre chose qu'une vérification de ce principe.

reçoit, de la lampe, des rayons de diverses directions, mais tous perpendiculaires à sa vitesse; chacun de ces points se comporte comme un point lumineux mobile, émettant une lumière identique à celle de la lampe; ils ont des vitesses égales et opposées, de 100 mètres par seconde. Un observateur placé à une certaine distance dans une direction perpendiculaire à BC et regardant le disque sous une incidence très oblique le verra sous la forme d'une ellipse très allongée dont une extrémité du grand axe s'éloigne de lui, tandis que l'autre s'en rapproche. L'effet Doppler-Fizeau doit produire une petite différence entre les longueurs d'onde des radiations provenant de ces deux points, égale à 7×10^{-7} en valeur relative. Pour mettre en évidence cette différence de longueur d'onde, nous avons employé un étalon interférentiel à lames argentées de 65 millimètres d'épaisseur représenté en E sur la figure (1). Les anneaux sont observés au moyen d'une lunette L visant à l'infini. Il importe que chaque point du champ soit éclairé par un seul point du disque, et, pour cela, que l'image nette du disque soit vue dans la lunette en même temps que celle des anneaux. Il faut donc rejeter à l'infini l'image du disque. Ce résultat est obtenu à l'aide de la lentille P, ayant 1 mètre de distance focale, et dont le plan focal contient le diamètre BC du disque tournant. L'axe de cette lentille est légèrement incliné, afin que le disque ne soit pas vu rigoureusement par sa tranche. Le faisceau issu du disque et sortant de la lentille se réfléchit sur le prisme à réflexion totale R, puis traverse l'étalon interférentiel et la lunette d'observation; en faisant légèrement tourner le prisme on déplace l'image du disque dans le champ de la lunette, et un bord, puis l'autre, peuvent être amenés à éclairer le centre immobile des anneaux; le mouvement du prisme est limité par deux butoirs, ce qui permet de passer sans tâtonnement d'une des positions à l'autre. Si le disque est immobile, ce changement n'amène aucune modification dans l'aspect des anneaux; lorsque le disque tourne, on voit les anneaux se contracter quand on passe du bord qui se rapproche à celui qui s'éloigne de l'observateur.

Pour l'observation visuelle, on se sert de la radiation verte, isolée au moyen de cuves absorbantes. L'ordre d'interférence, avec la différence de marche employée de 130 millimètres, est alors d'environ 240.000. En passant d'un bord à l'autre, le changement est

(1) Nous décrirons prochainement en détail les divers étalons interférentiels que nous employons dans nos recherches.

d'environ $\frac{1}{6}$ d'anneau ; il est assez grand pour être constaté facilement sans aucune mesure.

Si l'on veut faire des mesures il y a, comme d'habitude, grand avantage à employer la photographie. On utilise alors la raie violette, et on remplace la lunette par une chambre photographique mise au point pour l'infini. On fait des photographies successives en employant les deux bords du disque animé d'une vitesse de rotation connue, et l'on mesure la variation de longueur d'onde en déterminant sur le cliché les diamètres d'anneaux suivant la méthode habituelle. Les poses nécessaires pour obtenir les clichés sont extrêmement courtes ; même avec l'appareil de très faible ouverture dont nous nous sommes servis (distance focale 50 centimètres, ouverture utile environ 2 centimètres et par suite comme ouverture numérique $\frac{1}{25}$) on obtient un bon négatif avec cinq secondes de pose.

Comme les deux poses se succèdent sans interruption, toute l'expérience est achevée en un temps de l'ordre de dix secondes, et l'on est à l'abri de toutes les difficultés tenant à l'effet des changements de température sur l'appareil interférentiel, qui se faisaient si gravement sentir dans les expériences de Bélopolsky et de Galitzin.

On n'a pas cherché à apporter le maximum de précision dans la vérification numérique ; une seule expérience de mesure a été faite, sans prendre beaucoup de précautions. Voici quelques indications numériques sur les conditions de cette expérience.

La vitesse de rotation du disque, déduite de celle de la manivelle mue à la main et du rapport de multiplication, était de 214 tours par seconde. Le diamètre du disque tournant sur lequel se trouvent les centres des anneaux dans les deux poses est de 15 centimètres ; la différence des vitesses des deux extrémités de ce diamètre est par suite de 201 mètres par seconde. D'autre part, la différence de marche produite par l'étalon interférentiel étant de 130 millimètres, l'ordre d'interférence pour la radiation violette est de 298.300. On en déduit que la variation de l'ordre d'interférence au centre des anneaux doit être de 0,200. La mesure directe a donné 0,206, ce qui constitue une concordance meilleure qu'on ne pouvait l'espérer étant donné les conditions dans lesquelles la mesure était faite.

En perfectionnant les détails de la mesure, en employant des vitesses plus grandes, plus régulières et mieux connues, on pourrait

facilement arriver à une précision plus élevée. On réaliserait ainsi une bonne méthode de mesure de la vitesse de la lumière, différente des méthodes classiques et, à certains égards, plus simple.

**SUR UNE RELATION ENTRE LE POUVOIR ABSORBANT DE L'ATMOSPÈRE
POUR LES RADIATIONS SOLAIRES ET LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE DIFFUSÉE
PAR LE CIEL;**

Par M. A. BOUTARIC.

I. — INTRODUCTION.

1. On désigne sous le nom de *constante solaire* la quantité de chaleur que le Soleil envoie, par minute, sur une surface d'un centimètre carré située à une distance du Soleil égale à la distance moyenne du Soleil à la Terre et frappée normalement par les rayons solaires. La présence de l'atmosphère rend impossible toute mesure directe de la constante solaire. Pour la déterminer, on doit toujours procéder par extrapolation.

Rien n'autorise, d'ailleurs, à penser que la quantité ainsi définie soit effectivement une *constante*; et même, les recherches récentes effectuées par Abbot et ses collaborateurs ⁽¹⁾ semblent indiquer l'existence de variations périodiques atteignant 8 0/0.

Mais ces variations sont, en général, complètement masquées, à la surface du globe, par l'influence, beaucoup plus considérable, des changements continuels dont l'atmosphère est le siège (variations de la quantité de vapeur d'eau et des autres substances qui absorbent les radiations solaires, variations dans l'état de condensation de ces substances, influence des poussières, etc.).

L'étude des variations du pouvoir absorbant de l'atmosphère, plus aisée à aborder que la détermination de la constante solaire, peut présenter, pour la physique du globe et la météorologie, un très vif intérêt.

Nous avons tenté d'aborder cette étude dans un cas particulier. Mettant à profit les conditions climatériques exceptionnelles de Mont-

⁽¹⁾ ABBOT et FOWLE, *Astrophysical Journal*, 1911, t. XXXIII, p. 191. Voir aussi *Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution*, Washington, 1913, t. III, p. 115.