

Interférences des ondes et interféromètres optiques

INITIATION

On appelle "phénomènes d'interférence" ou, plus simplement, "interférences", les phénomènes qui se produisent quand viennent à se superposer plusieurs trains d'ondes de même nature.

La composition des mouvements ondulatoires ainsi superposés conduit la plus part du temps à des phénomènes très compliqués n'apportant aucun résultat utilisable. Mais, dans certains cas particuliers, quand les caractéristiques de deux trains d'ondes superposés satisfont à des conditions simples, il se manifeste des phénomènes d'interférence relativement simples eux aussi dont il devient possible et même souvent facile d'observer les manifestations. Ils sont susceptibles de nombreuses applications importantes.

La combinaison de deux trains d'ondes acoustiques dotées de fréquences très voisines entre elles produit une pulsation caractéristique du son ou, appelée "trémolo" en musique et "battements" en acoustique. Il s'agit d'une succession de forts et de faibles du même son avec une fréquence égale à la différence de fréquences des ondes interférentes. C'est parce qu'à certains moments, l'onde résultante présente une amplitude égale à la somme des amplitudes des deux ondes composantes et fait entendre un son plus fort. A d'autres moments les amplitudes se soustraient au lieu de s'ajouter et l'onde résultante est moins ample. Les moments où le son est le plus fort et ceux où le son est le plus faible se présentent en alternance. (Fig. 1).

Ce phénomène est utilisé en musique pour obtenir des effets esthétiques, mais on l'utilise aussi plus simplement pour accorder les instruments. Deux instruments jouant simultanément, on fait varier la fréquence émise par l'un d'eux de manière à obtenir des battements de plus en plus lents, ceux-ci s'amortissant et finissant par disparaître totalement. On est alors certain d'avoir amené les deux instruments à l'unisson.

La très grande fréquence des ondes optiques, qui est de l'ordre de 500.000.000.000.000 ($5,10^{14}$) vibrations à la seconde et leur vitesse de propagation qui est de 300.000 km/sec rend l'étude des interférences de ces ondes particulièrement délicate et intéressante.

Comme pour le son, il est possible d'obtenir des interférences bien visibles, mais en réalisant des "phénomènes stationnaires" c'est à dire immobiles dans l'espace et dans le temps. Pour que ces phénomènes se produisent on doit satisfaire à trois conditions impératives.

1° Les deux trains d'ondes qu'on souhaite faire interférer doivent être "homogènes", c'est à dire avoir exactement la même fréquence. Une différence de fréquence donnerait lieu à des battements qui ne seraient plus observables, leur fréquence étant toujours trop rapide.

2° Les deux trains d'onde doivent être "cohérents", c'est à dire conserver constante leur différence de phase. Cette différence détermine les points de l'espace où l'amplitude du mouvement résultant des ondes est égal à la somme ou à la différence des amplitudes des deux mouvements composants. Si la différence de phase changeait, les maxima et les minima du mouvement résultant changeraient continuellement de position et le phénomène ne serait plus stationnaire.

3° - Les deux trains d'onde doivent être "polarisés" dans le même plan, sinon les amplitudes ne pourraient s'ajouter ou se retrancher.

Cette dernière condition est facile à satisfaire et on peut ne pas s'en préoccuper car elle se réalise d'elle-même le plus souvent.

La première condition est également satisfaite facilement, au moins dans une mesure suffisante, pourvu qu'on utilise des sources "monochromatiques" comme le sont les lampes au sodium et, en général, les lampes à décharge dans les gaz raréfiés.

Seule la cohérence est difficile à réaliser. Elle est même impossible avec les sources communes d'ondes optiques ; celles-ci, en effet, sont constituées par les effets cumulés du très grand nombre d'éclairs émis par des myriades d'atomes agissant chacun indépendamment les uns des autres ; chaque éclair ne dépassant pas une durée à peine de $1/100\,000\,000$ seconde (10-8).

Il est impossible, avec des ondes de ce genre, d'obtenir deux trains d'ondes cohérentes par deux sources séparées. On est obligé d'avoir recours à l'artifice suivant.

Les deux trains d'ondes cohérentes et homogènes tels qu'ils nous sont indispensables pour réaliser des interférences optiques sont obtenus en divisant en deux faisceaux les ondes émises par une même source et en faisant parcourir à ces faisceaux des chemins différents de façon à les amener finalement à se superposer.

C'est là le rôle qu'ont à jouer les nombreux dispositifs appelés "interféromètres optiques". Certains de ces interféromètres réclament l'usage de sources de radiation très étroites. Le plus simple des instruments de ce genre est l'interféromètre de Young dit "interféromètre à trous" (fig. 2). Les ondes émises par la source S, après avoir traversé deux petits trous, divergent par diffraction et se superposent. En observant un écran H K sur lequel vient aboutir la radiation, on remarque l'existence de frange, c'est à dire de stries alternativement claires et obscures ; rectilignes, parallèles et équidistantes dirigées perpendiculairement à la ligne qui joint les centres des deux trous. Le dispositif est plus lumineux si on substitue deux fentes parallèles aux deux trous et si on utilise une source filiforme parallèle aux fentes.

Les franges sont encore visibles quand on emploie des radiations complexes comme celles de la lumière blanche mais plus difficilement.

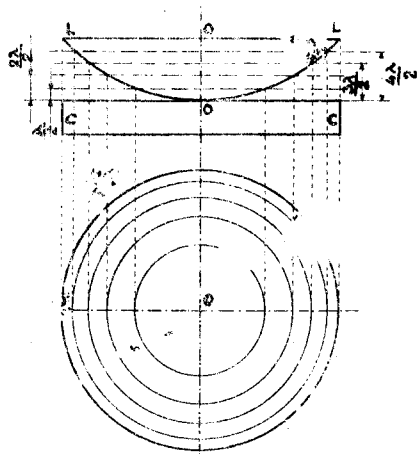
On obtient des franges du même type en substituant aux deux fentes un biprisme de Fresnel (fig. 3) ou deux miroirs de Fresnel (fig. 4) formant entre eux un angle très voisin de 180° . Les franges sont encore rectilignes, parallèles, équidistantes et dirigées suivant l'arête du prisme ou l'intersection des plans des miroirs.

D'autres interféromètres fonctionnent avec des sources relativement étendues. On doit classer dans ce groupe l'interféromètre à "coin" constitué par deux surfaces de verre (ou d'une autre substance transparente) rapprochées l'une de l'autre de manière à ce que les deux faces forment un angle inférieur à une minute. Si ces deux faces sont planes les franges sont rectilignes, équidistantes et parallèles à l'arête du coin. La largeur et l'équidistance de ces franges sont inversement proportionnelles à l'angle du coin et à la fréquence de la radiation employée. Si la distance entre les faces du coin ne dépasse pas deux microns, les franges peuvent être distinguées même en lumière blanche, sinon il faut employer des radiations monochromatiques. L'interférence se produit entre les ondes réfléchies par les deux faces du coin. (fig. 5 et 6)

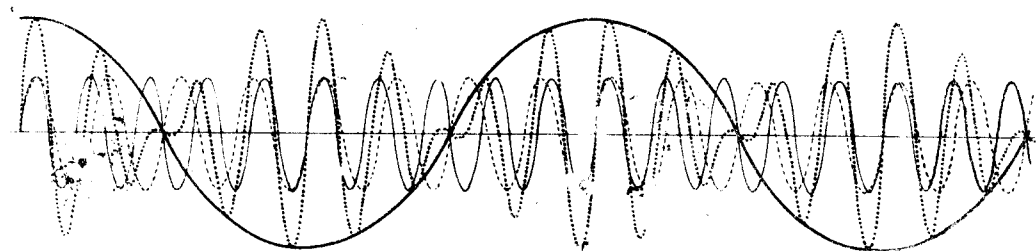
En mettant en contact une surface plane et une surface sphérique de très grand rayon de courbure, on observe des franges formées d'anneaux concentriques, centrés au point de contact ; leur rayon croît comme la racine carrée des nombres entiers. Ils sont connus sous le nom d'anneaux de Newton. (fig. 7).

Si les faces sont toutes les deux planes et parallèles et non en contact, on peut aussi distinguer des anneaux concentriques (qui alors portent le nom d'anneaux de "Haidinger") mais il faut accommoder l'oeil à l'infini et utiliser une radiation très monochromatique.

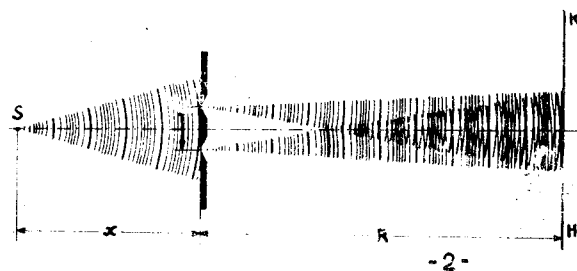
Les franges donnent toujours des renseignements très précis pour déterminer la forme d'une surface, quand elle est combinée avec une autre surface plane ou sphérique.



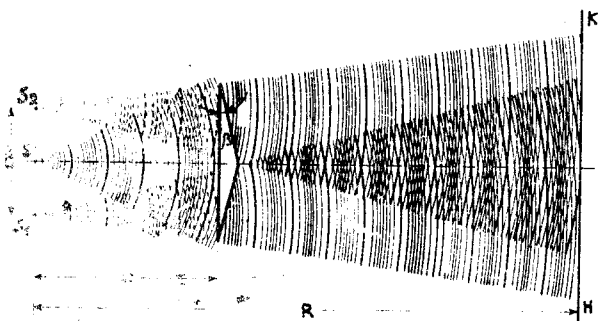
Anneaux de Newton



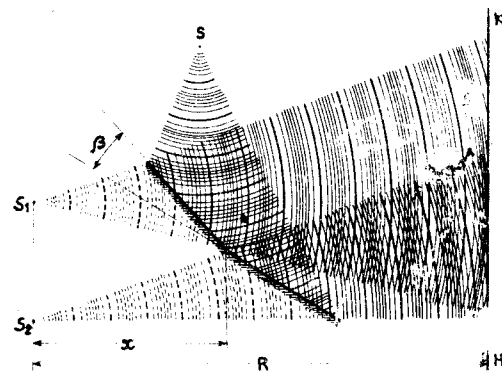
1 Diagramme des battements



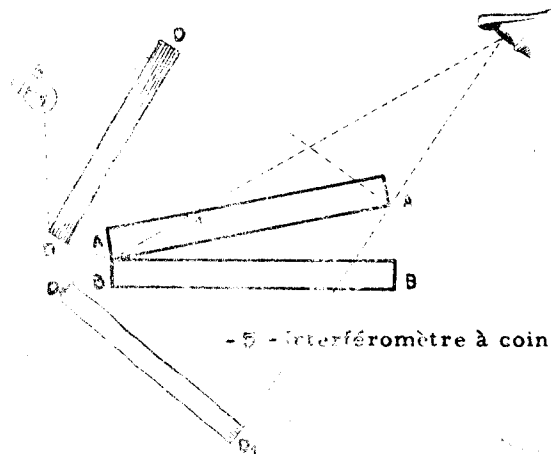
Interféromètre à trous



-3- Biprisme de Fresnel



- 4 - Miroirs de Fresnel



- 5 - Interféromètre à coin

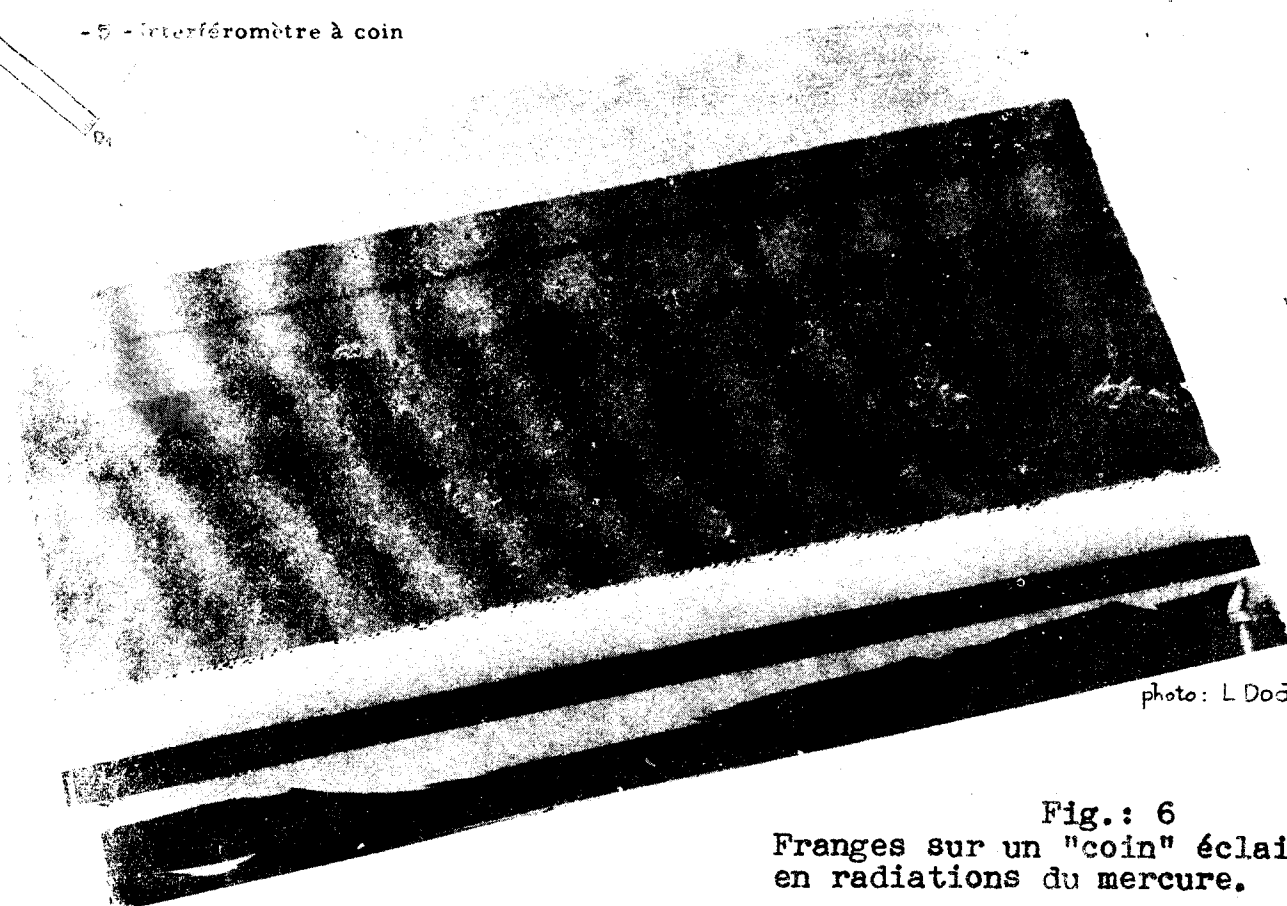


photo: L Dodin

Fig.: 6
Franges sur un "coin" éclairé
en radiations du mercure.