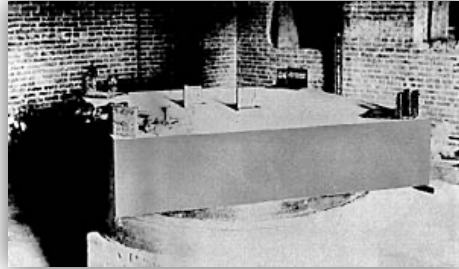




Du mystérieux éther aux ondes gravitationnelles

L'interféromètre de Michelson relie 130 ans d'histoire sur les sciences et deux prix Nobel, liant un test fondamental pour la relativité restreinte à un test fondamental de relativité générale.



A la fin du XIX^{ème} siècle, les physiciens considèrent avoir répondu à tous les grands problèmes sur la structure du monde qui nous entoure. Il restait bien quelques questions encore sans réponse, mais cela n'était qu'affaire de détail.



Parmi ces incertitudes, il restait l'incertitude sur le support matériel de propagation des ondes lumineuses, qu'on appelait alors éther, mais que personne n'avait encore mis en évidence.

C'est dans ce but que le physicien américain Albert Abraham Michelson mit au point un interféromètre. Si sa recherche se solda par un échec, il reçut malgré tout le prix Nobel en 1907 pour « ses instruments optiques de précision et les travaux menés sur la spectroscopie et la métrologie grâce à ces instruments. ». En effet, les résultats de Michelson et de son collègue Edward William Morley menèrent à l'unique conclusion possible : l'éther n'existe pas. Les implications de cette conclusion menèrent au développement de la théorie restreinte par Albert Einstein en 1905.

Près de 130 ans après les premières expériences de Michelson, son instrument a été de nouveau utilisé par LIGO et VIRGO pour tester une autre théorie d'Albert Einstein, la théorie de la relativité générale établie en 1916, et détecter les toutes premières ondes gravitationnelles, ce qui a illuminé le ciel grâce à ce nouveau messenger cosmique, une alternative aux ondes électromagnétiques.

La première détection d'ondes gravitationnelles a été qualifiée de « découverte qui a bouleversé le monde », par le comité du prix Nobel, qui a récompensé les trois pères fondateurs du détecteur LIGO du prix Nobel de la Physique en 2017.

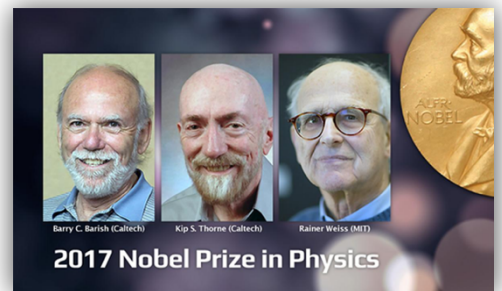
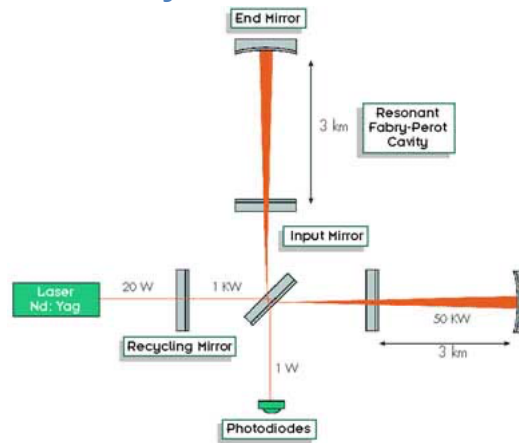




Schéma de principe de l'interféromètre VIRGO



Les 2 ondes lumineuses créés au niveau de la lame séparatrice sont initialement en phase : elles oscillent de manière identique.

1. **Schématiser deux ondes en phase. Justifier que la superposition de ces deux ondes résulte en une amplitude maximale.**

On a alors des interférences constructives.

Les longueurs des deux bras de l'interféromètre ne sont pas forcément identiques. La différence de distance parcourue alors par chacune des deux ondes est appelée différence de marche et notée δ .

2. **Déterminer l'expression de la différence de marche δ en fonction des longueurs L_1 et L_2 des deux bras.**

Les 2 bras de l'interféromètres sont réglés de telle sorte qu'après leur aller-retour, les 2 ondes sont en opposition de phase : lorsque l'une des ondes présente un maximum, l'autre présente un minimum.

3. **Schématiser deux ondes en opposition de phase. Justifier que la superposition de ces deux ondes résulte en une amplitude minimale.**

On a alors des interférences destructives.

Les photodiodes mesurent donc une intensité nulle (au bruit près).

À la différence de marche est associé un déphasage φ entre les deux ondes lumineuses, lié à la modélisation mathématique d'une onde périodique.

4. **Proposer deux relations pour exprimer le lien entre déphasage φ et nature des interférences (déphasage pour que les interférences soient constructives ; déphasage pour que les interférences soient destructives).**
5. **Sachant que déphasage et différence de marche sont liés par la relation $\frac{2\pi}{\varphi} = \frac{\lambda}{\delta}$, en déduire une expression du déphasage entre les deux faisceaux en fonction de δ .**
6. **En déduire un critère mettant en jeu différence de marche δ et longueur d'onde λ pour déterminer la nature constructive ou destructive des interférences.**

A l'œil nu, on ne peut que distinguer une différence entre obscurité et intensité maximale.

7. **Déterminer une expression de la plus petite différence de longueur mesurable à l'œil nu avec un interféromètre de Michelson.**

Dans le cas de VIRGO, la variation de puissance optique est mesurée à l'aide d'un photodétecteur. La grande dimension des bras de l'interféromètre et la puissance importante du LASER permet alors d'avoir accès à des dimensions de l'ordre d' $1 \cdot 10^{12}$ ème de longueur d'onde, soit 10^{-18} m.

8. **Comparer cette valeur à la dimension d'un noyau atomique.**

Proposer alors une justification pour le fait que les ondes gravitationnelles aient attendu 100 ans après leur prévision par Albert Einstein pour être mise en évidence.