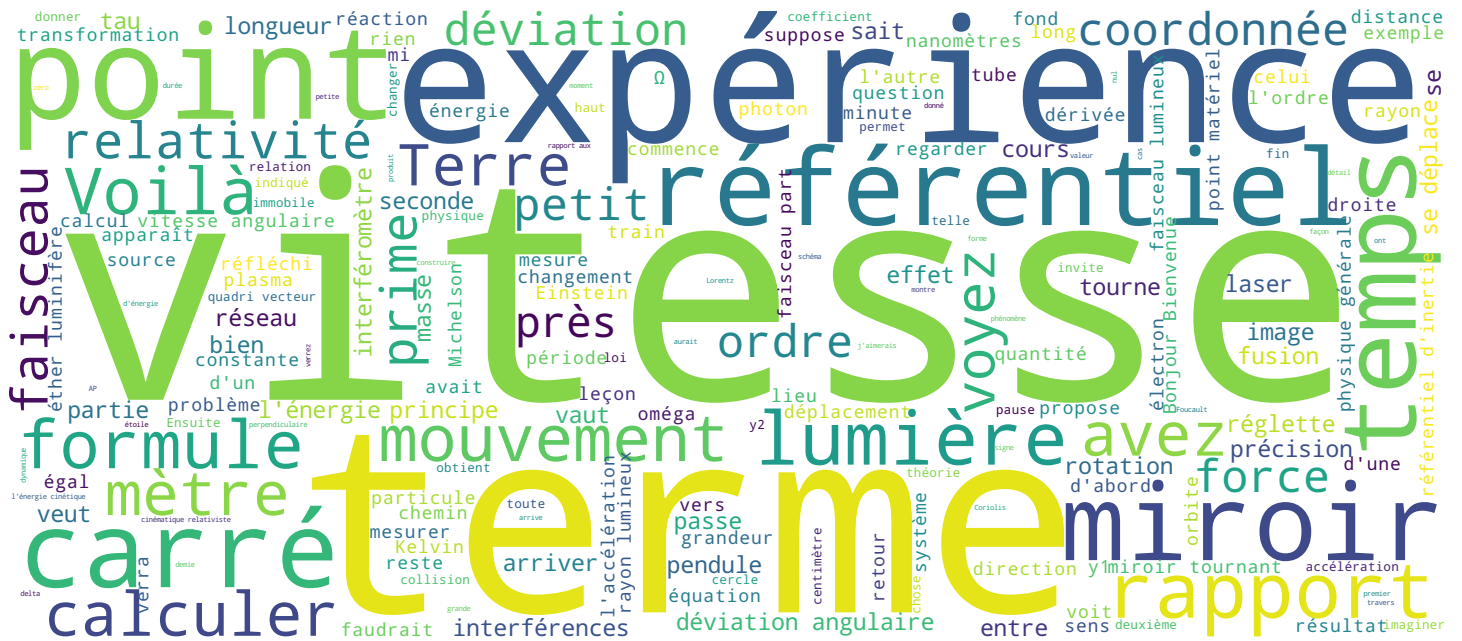


Expériences : vitesse de la lumière

Mécanique, cours 22.exp

Jean-Philippe Ansermet



Search MOOC



Video





- Vitesse de la lumière
- Interféromètre de Michelson

Mécanique | 2013 4

Bonjour. Bienvenue au cours de physique générale de l'EPFL. Dans cette leçon, on a parlé du principe de relativité d'Einstein et de la vitesse de la lumière. Ici, j'aimerais montrer une expérience qui permet de mesurer la vitesse de la lumière. Ce n'est pas une expérience suffisamment précise pour vérifier les résultats de la cinématique relativiste. Cependant, c'est l'occasion pour nous de penser un peu plus en détail à la vitesse de la lumière. Ensuite, je montrerai un interféromètre de Michelson.

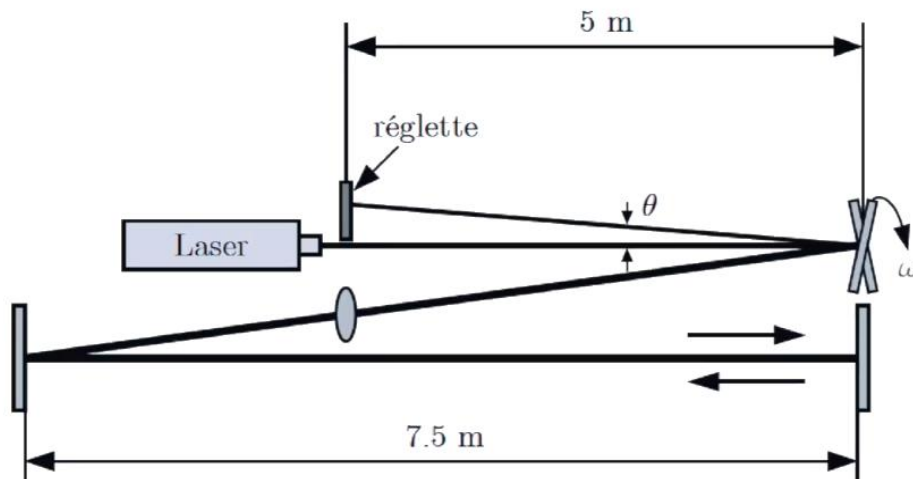
Notes

Summary



0m 00s

Mesure approximative de la vitesse de la lumière



- Un faisceau laser est réfléchi par un miroir tournant.
- Le faisceau parcourt plusieurs mètres, puis il est réfléchi par un miroir fixe.
- Il revient sur le miroir rotatif qui a tourné d'un certain angle pendant le trajet du faisceau.

Mécanique | 2013 5

Je commence avec la vitesse de la lumière. Sur le schéma que vous avez sous les yeux, il y a un laser qui émet un faisceau lumineux et qui est réfléchi sur un miroir en rotation. Ce qu'il faut voir dans cette expérience, c'est que pour une, et une seule position de ce miroir, le faisceau est réfléchi dans cette direction, passe à travers une lentille, un miroir, un autre miroir et retour. Et quand ce faisceau-là, ou ce morceau, ce segment de faisceau revient, le miroir a tourné un petit peu et donc le faisceau, au lieu de revenir dans le laser, part un petit peu de côté. Voici une image du laser. Vous voyez que, on a mis une réglette au ras du faisceau laser et lorsqu'on fera tourner le miroir, on verra le faisceau revenir sur la réglette, décalé à droite par rapport au bord de la réglette.

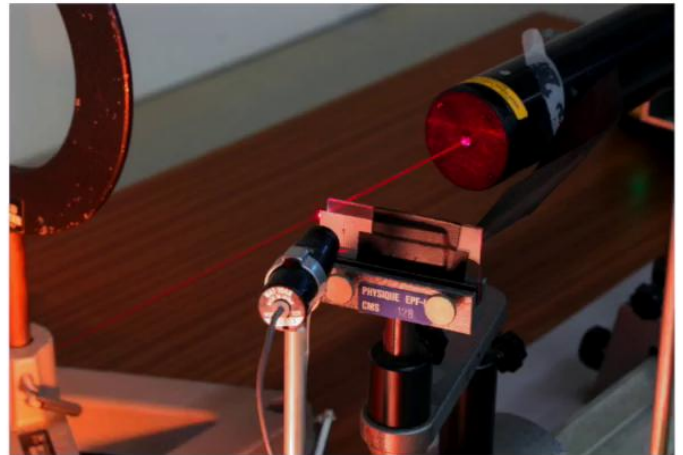
Notes

Summary



0m 41s

Mesure approximative de la vitesse de la lumière



- Le faisceau laser rasant la règle.
- A son retour, il tombe à quelques millimètres à droite.

Mécanique | 2013 6

Notes

Summary



1m 35s

Mesure approximative de la vitesse de la lumière



- Au mur, un miroir tourne à la vitesse angulaire indiquée en tours par seconde.
- Le segment de faisceau qui est réfléchi exactement sur le chemin optique est donc dévié.

Mécanique | 2013 7

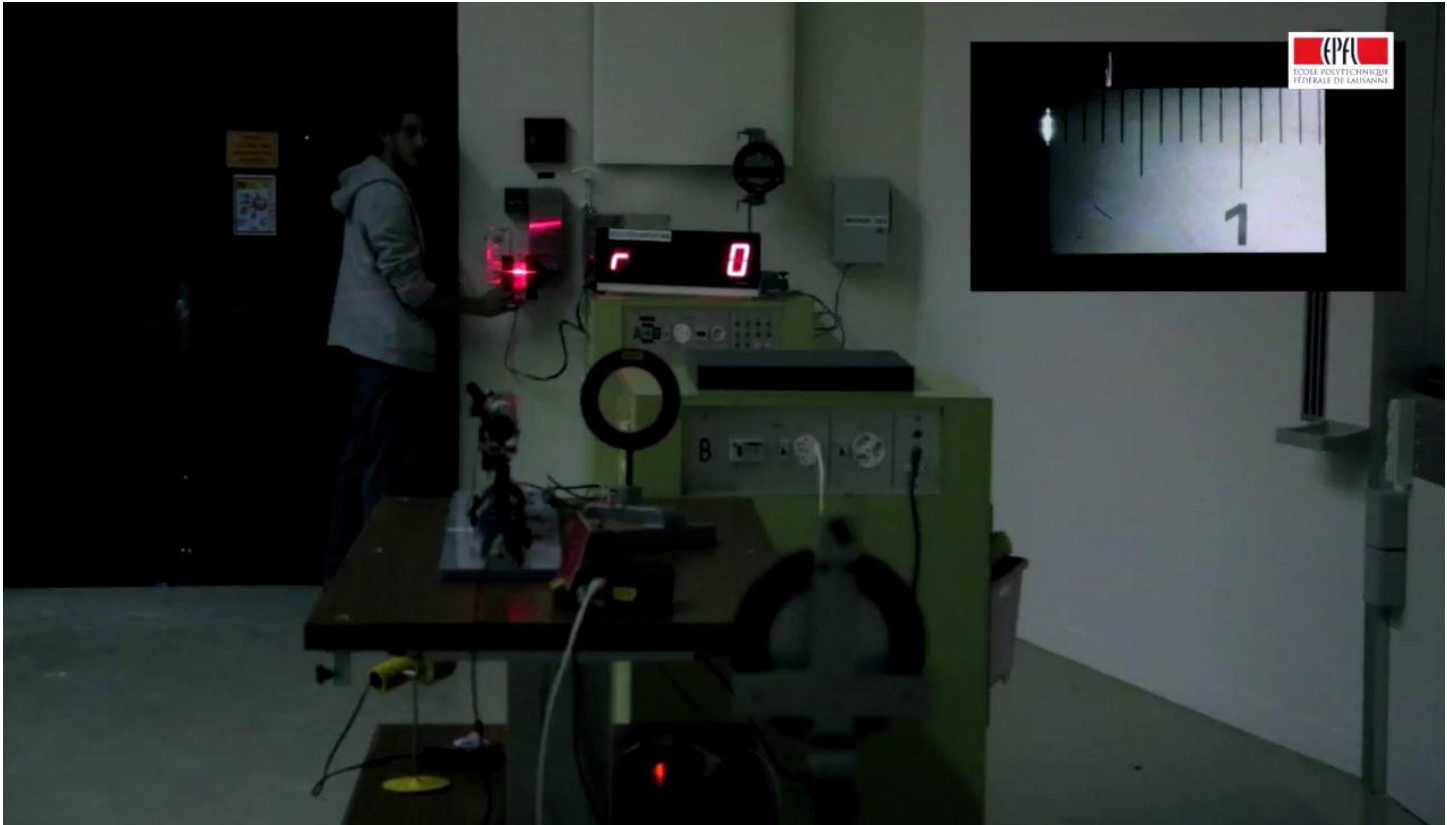
Maintenant je vous propose de regarder l'expérience.

Notes

Summary



1m 55s



Vous avez le laser au centre, contre le mur, le miroir tournant, et après le long parcours après le miroir. Et maintenant, on va enclencher le miroir tournant. Voilà, à l'intérieur de cette cavité, il y a un miroir qui tourne à grande vitesse, on va mesurer la vitesse. Voilà la règlette. Et maintenant, on lance le miroir. Vous avez la vitesse angulaire qui apparaît et vous voyez la déviation sur la règlette. On a, j'ai estimé la déviation à peu près 3,7 centimètres et j'ai retenu comme valeur 588 tours par minute.

Notes

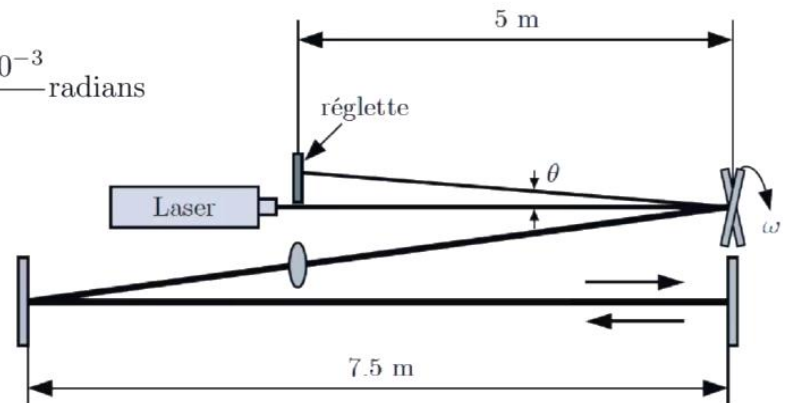
Summary

2m 01s



Mesure approximative de la vitesse de la lumière

$$\theta = \frac{3.7 \cdot 10^{-3}}{5} \text{ radians}$$



Vitesse de rotation : 588 tour/s

Déviaton : 3.7 mm

Rayon : 5 m

Trajet : $4 \times 7.5 \text{ m} = 30 \text{ m}$

$$\text{Durée du trajet : } \frac{\theta/2}{588 \cdot 2\pi} \text{ s} = 1.002 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

$$c \approx \frac{30 \text{ m}}{1.001 \cdot 10^{-7} \text{ s}} = 2.995 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Mécanique | 2013 12

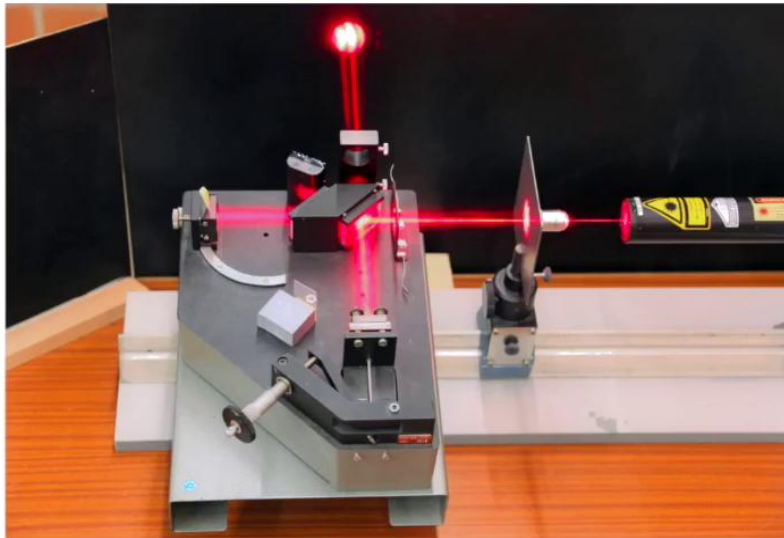
Maintenant, analysons cette expérience. Alors on a comme valeurs retenues 588 tours, pardon c'est des tours par seconde, la déviation 3,7, 588 tours par seconde, 3,7 millimètres, c'est une déviation d'un faisceau qui fait 5 mètres de long. On peut donc calculer la déviation angulaire. Voilà les 3,7 millimètres, divisés par 5 mètres, ça me donne une déviation angulaire en radians. Maintenant, on peut calculer la durée de l'impulsion lumineuse, qui a fait ce trajet-là et retour. Alors on prend la déviation angulaire du miroir, qui est la moitié de la déviation angulaire du faisceau, divisée par la vitesse angulaire et on obtient, à peu près, un dixième de microseconde. On a un déplacement de 30 mètres, on en déduit une vitesse d'à peu près 3 fois 10 puissance 8 mètres par seconde. Encore une fois c'est une mesure approximative, il est exclu de voir des effets relativistes sur un tel dispositif. À la fin du dix-neuvième siècle, certains imaginaient qu'un rayon lumineux devait être pensé comme une vibration d'une substance que l'on appelait l'éther luminifère.

Notes

Summary



Interféromètre de Michelson



- Principe : miroir semi-réfléchissant
- Interférence des deux faisceaux provenant des chemins orthogonaux.

Mécanique | 2013 13

On doit s'imaginer que cet éther est immobile par rapport aux étoiles et donc, la Terre se déplace dans l'éther. Alors, la vitesse de la lumière n'est pas la même si le rayon lumineux est dans le sens de déplacement de la Terre ou à sa perpendiculaire. L'expérience de Michelson cherchait à détecter cette différence grâce à un interféromètre qui maintenant porte son nom. Vous avez, ici, une photo de l'expérience. Vous voyez le faisceau lumineux du laser arriver sur un miroir semi-réfléchissant. Une partie du faisceau part dans cette direction-là, sur un miroir totalement réfléchissant, revient, et une partie du faisceau, part comme ceci, et une autre partie du faisceau va tout droit, est réfléchi et revient comme ceci et là ce qu'on détecte, avec ce long temps de pause, c'est l'image d'interférences qui s'est construite, qu'on va observer sur un écran de fond, sur le fond de, sur le fond noir.

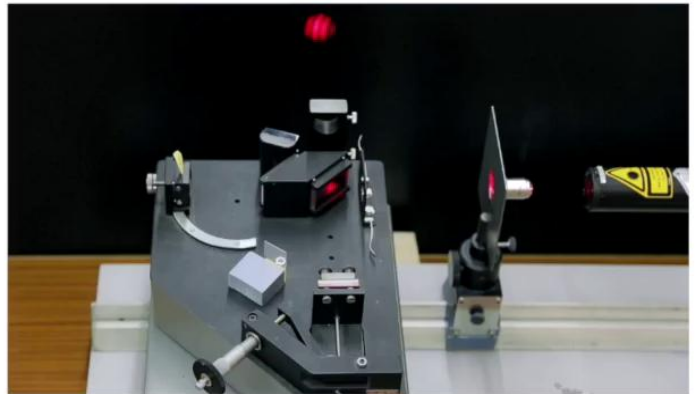
Notes

Summary



4m 55s

Interféromètre de Michelson



- Une infime variation de la longueur d'un chemin suffit à changer les franges d'interférence.

Mécanique | 2013 14

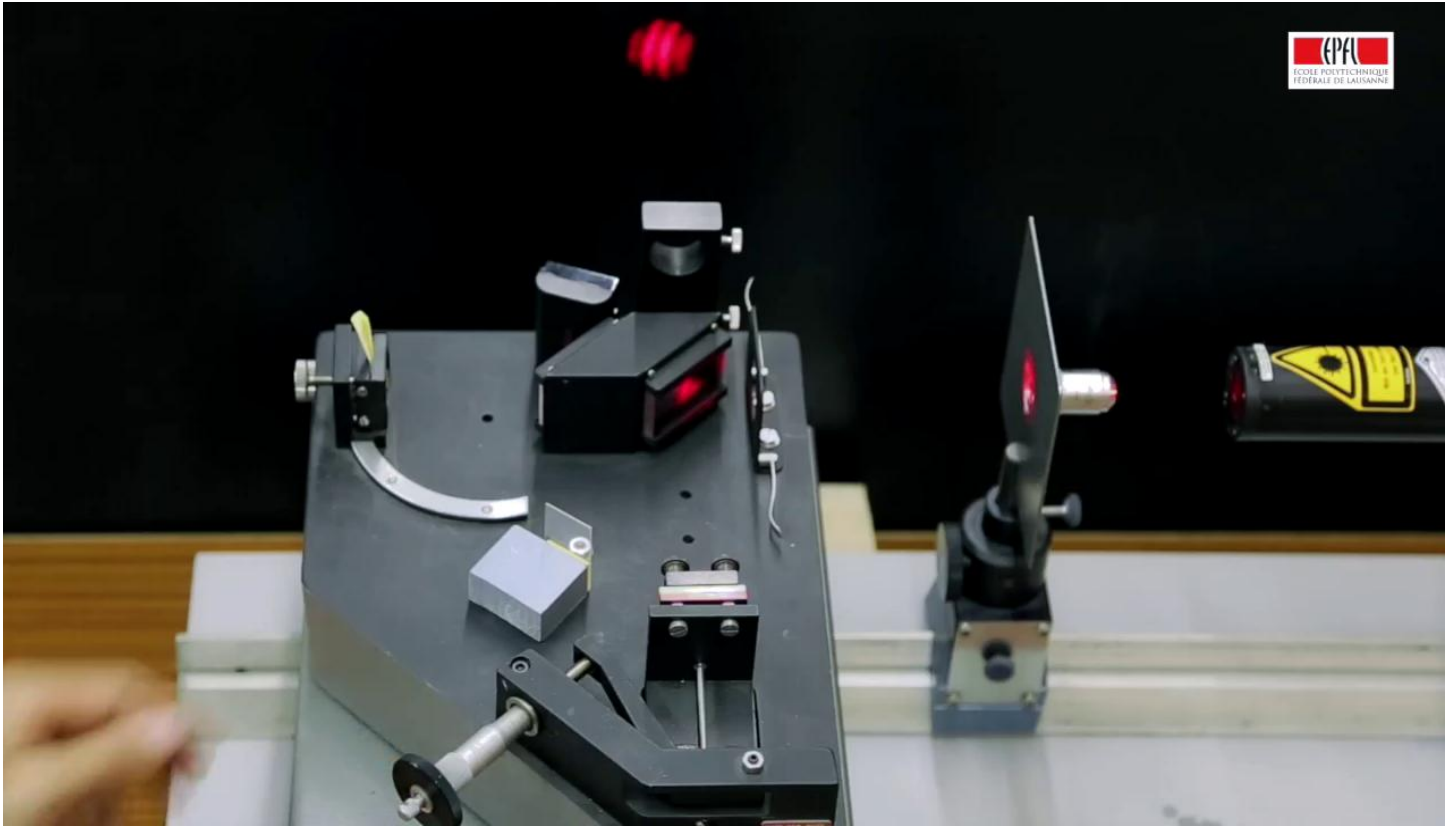
Je passe maintenant à l'expérience elle-même. Voilà notre interféromètre de Michelson et on va changer très légèrement une distance sur un bras et vous verrez sur la tache d'interférences, en haut de l'image, un changement du réseau de diffraction, de, du réseau d'interférences.

Notes

Summary



6m 06s



Vous voyez.

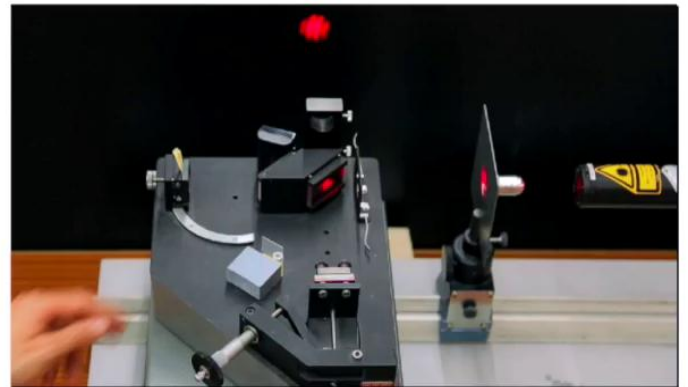
Notes

Summary



6m 28s

Interféromètre de Michelson



- Une infime variation de la longueur d'un chemin suffit à changer les franges d'interférence.

Mécanique | 2013 14

Alors, la question qu'on peut se poser maintenant c'est : est-il possible de tester si la Terre avance dans un éther luminifère ou pas?

Notes

Summary



6m 38s

Interféromètre de Michelson



- Terre-Soleil : 8 minutes.
- Orbite approximativement un cercle
- Période d'un an : $v/c = 2\pi \cdot 8 \text{ min} / (1 \text{ an})$
- $(v/c)^2 = 10^{-8}$
- Interférences sensibles au mieux à 30 nm.
- Sur 30 cm, cela représente 10^{-7}
- Il faut 3 mètres

Mécanique | 2013 22

Si on voulait faire l'expérience, il faudrait considérer les grandeurs, les ordres de grandeurs suivants. D'abord, on sait que la distance Terre – Soleil est telle qu'il faut, à la lumière, à peu près, 8 minutes pour arriver sur la Terre. Comme l'orbite de la Terre est, à peu près, un cercle, on peut calculer, et on sait que la période est un an, on peut calculer le rapport v sur c , comme indiqué ici, parce que 2π fois 8 minutes, fois la vitesse de la lumière, ça nous fait la longueur de l'orbite et cet orbite est parcouru en un an. Ce qu'on cherche, c'est un effet de l'ordre de v sur c au carré et quand on fait le calcul, on obtient 10 puissance moins 8. Donc c'est un effet très petit. Si maintenant on suppose que le réseau d'interférences est sensible à une variation de 30 nanomètres sur la longueur d'un chemin, ou si l'on veut que le temps corresponde à un changement de 30 nanomètres, il faudrait, si on avait 30 centimètres, un chemin de 30 centimètres, on aurait une précision de 10 moins 7. Il faut donc 3 mètres pour arriver à une précision de 10 moins 8.

Notes

Summary



6m 50s

Interféromètre de Michelson



- Terre-Soleil : 8 minutes.
- Orbite approximativement un cercle
- Période d'un an : $v/c = 2\pi \cdot 8 \text{ min} / (1 \text{ an})$
- $(v/c)^2 = 10^{-8}$
- Interférences sensibles au mieux à 30 nm.
- Sur 30 cm, cela représente 10^{-7}
- Il faut 3 mètres
- Coefficient d'expansion thermique $10^{-5}/\text{K}$
- Contrôle de température 0.001K sur 3 mètres.

Mécanique | 2013 24

Maintenant, je vous présente un détail expérimental qui montre la difficulté de la réalisation d'une telle expérience, le coefficient d'expansion thermique de nombreux matériaux est de l'ordre de 10 ppm par Kelvin, donc 10 moins 5 par Kelvin et donc il faudrait, pour arriver à une précision de 10 moins 8, avoir une thermalisation à 10 moins 3 Kelvins près sur 3 mètres, ce serait extrêmement difficile à réaliser. Et si on le réalisait, on n'aurait rien à voir puisqu'on a d'amples vérifications de la théorie de la relativité et on sait que quand la Terre tourne ou quand on tourne l'expérience dans le laboratoire, on ne, quand l'expérience est bien faite, on ne doit rien avoir du tout. Et par conséquent, personne n'a envie de construire cette expérience.

Notes

Summary



8m 09s