

Optique

Exercice G0-03 : Mesure de longueurs - cas des grandes distances

Principe

Selon l'ordre de grandeur des longueurs à mesurer, on peut distinguer trois cas justiciables de méthodes assez différentes.

Le premier concerne les distances de plusieurs milliers de kilomètres séparant la Terre d'un satellite ou de la Lune. La mesure s'effectue alors en déterminant le temps τ mis par une impulsion laser très brève pour aller se réfléchir sur l'obstacle et revenir : il s'agit donc là d'une technique très semblable à celle du classique radar.

L'émetteur choisi est un laser déclenché, à rubis ou à néodyme, placé au foyer d'un télescope.

On obtient ainsi une impulsion très brève (quelques nanosecondes), intense (plusieurs joules) et directive (environ 1 seconde d'arc, ou 5 microradians). Un réflecteur placé sur la cible permet de renvoyer l'impulsion vers la Terre : on utilise en général un cataphote formé par l'assemblage de trièdres réfléchissants, qui possède la propriété de réfléchir un rayon lumineux exactement dans la direction d'incidence. De tels cataphotes sont couramment montés sur les satellites ; trois d'entre eux ont d'autre part été déposés sur la Lune lors des vols Apollo 11, 14 et 15, tandis que deux autres ont équipé les stations lunaires automatiques Lunakhod. On utilise enfin à la réception le même télescope ayant servi à l'émission, une lame semi-transparente dirigeant le signal reçu vers un photomultiplicateur.

La simplicité du principe utilisé n'exclut pas de grandes difficultés pratiques. La principale est sans doute la faiblesse de l'écho reçu, dû à l'étalement angulaire inévitable de l'impulsion initiale, ce qui nécessite un traitement très élaboré du signal en vue d'extraire celui-ci du bruit.

L'alignement du télescope dans la direction exacte du cataphote visé est à ce sujet aussi impératif que malaisé. Il convient par ailleurs d'obtenir une impulsion aussi courte que possible, de mesurer avec une bonne précision la durée séparant son départ de son retour, et d'évaluer les corrections d'indice affectant la valeur de la vitesse de la lumière.

[d'après : Les Lasers ; Francis Hartmann ; PUF]

On se propose de mesurer la distance Terre-Lune :

On rappelle que la vitesse de la lumière dans le vide est $c = 299\,792\,458$ m/s (par définition).

On assimilera l'atmosphère terrestre à une couche homogène d'épaisseur 30 km et d'indice de réfraction $1,00030 \pm 0,00001$.

1. Calculer la vitesse v de la lumière dans l'atmosphère avec son incertitude associée.

La durée de propagation est estimée à $\tau = 2,600\,070\,100\,0$ s avec une incertitude relative de 10^{-10} .

2. En déduire la distance Terre-Lune.

3. Estimer l'incertitude associée à cette mesure (en cm).

Eléments de correction

1. $299\,703 \pm 3$ km/s
2. $389\,740\,694,13$ m
3. 34 cm