

Mesure de longueurs

Matériel

- mètre ruban
- diode laser
- diode pulsée rapide (1 MHz)
- photodiode rapide
- lame semi-réfléchissante
- coin cube
- oscilloscope
- Michelson
- lampe QI
- filtre AC
- diaphragme
- lentille 100mm
- objectif de microscope
- spectromètre (AvaSpec)
- lycopodes
- ampoule à vide (avec filament de tungstène) + canon à électrons
- générateur haute tension Frederiksen (ENSC 488 ?)
- laser épuré
- écran

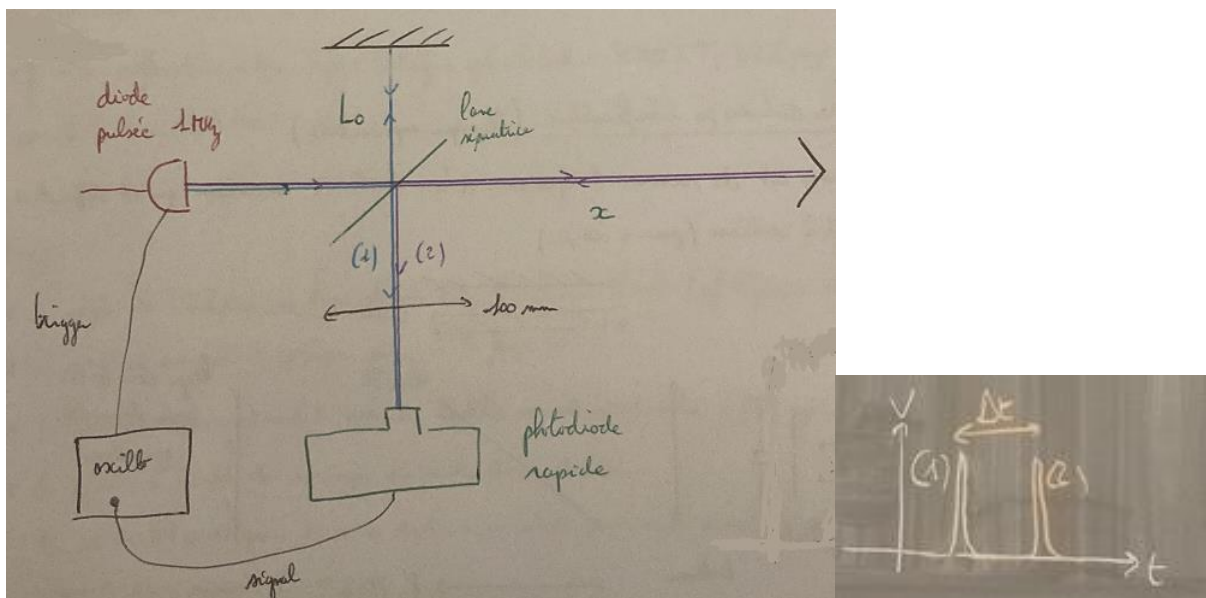
Introduction

Être capable de mesurer avec précision permet de mieux appréhender un phénomène et d'en comprendre plus fondamentalement les principes. Ainsi on a vu une évolution de la définition du mètre/seconde au cours de l'histoire. Quand on pense naïvement aux mesures de longueur, on sort notre outil favori : la règle. Cet outil s'avère ni précis ni pratique pour mesurer de très grandes ou de très petites distance. L'idée de ce montage est de présenter d'autres méthodes pour mesurer des longueurs dans ces domaines initialement inaccessibles.

I Mesure de grandes longueurs : télémétrie laser

L'idée est d'envoyer une diode laser sur un système catadioptrique qui constitue le coin cube (qui permet de renvoyer les rayons parallèles aux rayons incidents) et de mesurer le temps de vol de l'aller-retour. Un ordre de grandeur simple montre qu'il faut une diode pulsée rapide (suffisamment pour éviter d'avoir un chevauchement).

On place la diode pulsée et le coin cube à la même hauteur (suffisamment éloignés, une dizaine de mètres), puis la lame semi-réfléchissante, le miroir, la lentille et la photodiode. On règle jusqu'à avoir deux signaux à l'oscilloscope. On mesure Δt et L_0 , on en déduit x : $x = L_0 + \frac{c\Delta t}{2}$, on compare avec la valeur mesurée avec un mètre ruban.



Cette méthode a été utilisée pour mesurer la distance Terre-Lune.

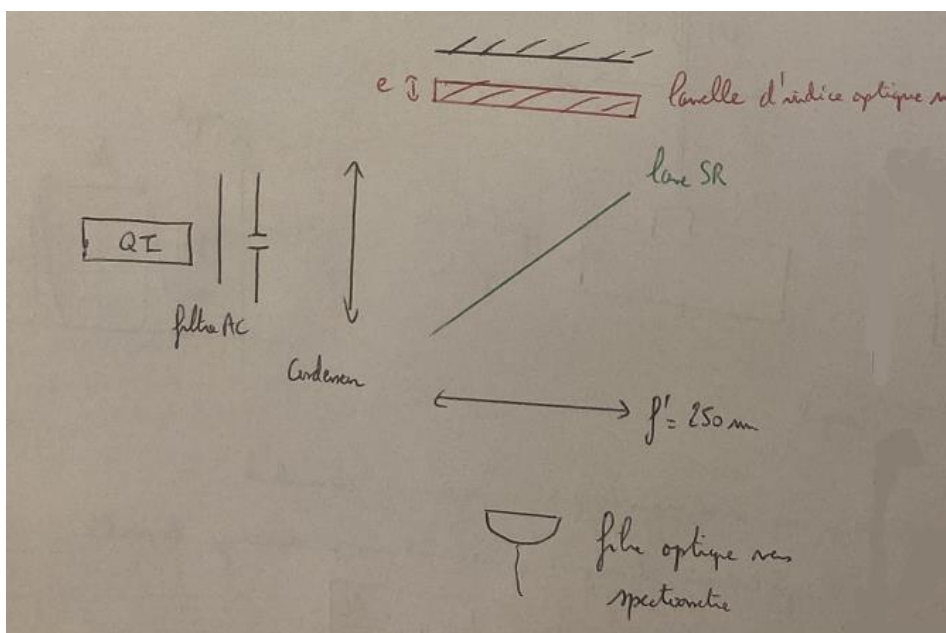
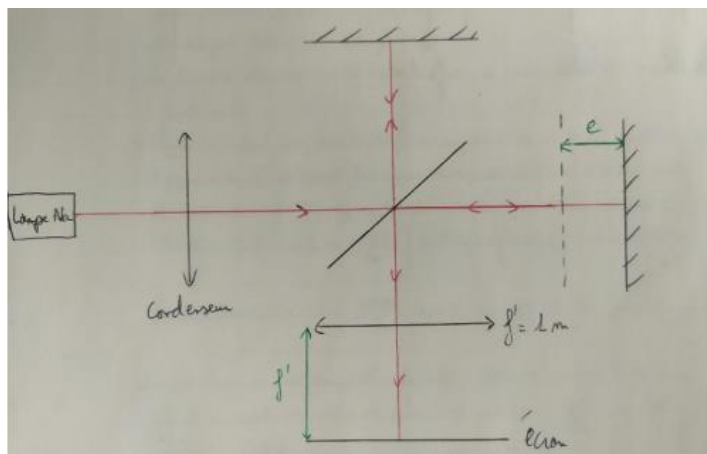
II Mesure de courtes distances

1) Épaisseur de verre d'une lame

Le but de cette expérience est de mesurer l'épaisseur d'une lamelle de microscope, difficilement mesurable avec un pied à coulisse (dont la précision est de $10 \mu\text{m}$).

En préparation :

Il faut avoir réglé le Michelson en lame d'air avec la lumière blanche (+ filtre AC + diaphragme). On repère ainsi avec la position la position du contact optique à l'endroit de la frange noire (la précision d'une centaine de nm est négligeable).



Pour régler le Michelson :

-Éclairer l'interféromètre avec un laser en incidence normale sur la séparatrice et placer l'écran parallèlement à la compensatrice : on observe de multiples taches, il faut les faire se recouvrir du mieux possible à l'aide des deux vis de la séparatrice/compensatrice

-Placer le laser en entrée de l'interféromètre (incidence normale sur le miroir M2), placer l'écran en sortie de l'interféromètre (à environ 1m) : on observe de multiples taches, il faut les faire se recouvrir au mieux à l'aide des vis grossières (miroir M2).

-Pour faciliter la suite du réglage, placer un objectif de microscope sur le laser : faire rentrer les anneaux jusqu'à n'en voir plus qu'un ou deux, retirer le laser et éclairer avec une lampe QI, placer un condenseur devant la lampe pour avoir le maximum d'anneaux (angle d'incidence assez grand).

En direct :

Allumer la lampe et observer les franges (placer une lentille en sortie du Michelson). Venir placer la fibre du spectromètre à l'endroit de la frange noire (on n'utilise pas la méthode d'estimation de la taille avec le vernier car précision de 10 micromètres). Placer la lamelle à étudier dans un des bras du Michelson. Acquérir un spectre cannelé et mettre l'acquisition en pause, il ne sert à rien de voir des fluctuations au moment de faire la mesure. Repérer 2 cannelures extrémales correspondant plus ou

moins aux longueurs d'ondes dont on connaît l'indice. Mesurer avec précision la longueur d'onde de ces cannelures. Typiquement, il faut zoomer pour aller chercher la résolution du spectromètre de l'ordre de 0,2 nm. Compter le nombre de cannelures entre ces deux cannelures en les prenant également en compte.

Une cannelure correspond à un déphasage de $\Delta\phi = \pi + 2p\pi$. Or, $\Delta\phi = \frac{4\pi e(n-1)}{\lambda_p}$

$$\frac{2\pi}{\lambda_{p1}} 2e(n(\lambda_{p1}) - 1) = \pi + 2p_1\pi$$

$$\frac{2\pi}{\lambda_{p2}} 2e(n(\lambda_{p2}) - 1) = \pi + 2p_2\pi$$

On note $p_2 - p_1 = N - 1$ avec N le nombre de cannelures mesurées, on trouve :

$$e = \frac{N - 1}{\frac{2(n(\lambda_2)-1)}{\lambda_2} - \frac{2(n(\lambda_1)-1)}{\lambda_1}}$$

Pour connaître l'indice : <https://refractiveindex.info/?shelf=gloss&book=SCHOTT-BK&page=N-BK7>

Autre méthode : on place une lame en verre ($n = 1,5$) devant l'un des miroirs du Michelson. Les irisations ont disparu car la différence de marche a varié de $2(n - 1)e$. Pour compenser, on translate de $l = (n - 1)e$ (on relève la position avec le vernier avant et après la translation). On en déduit e .

2) Taille d'un lycopode

Réaliser un montage de Fraunhofer. Pour cela, venir placer l'objet ponctuel créé par l'épurateur au foyer d'une lentille (150mm) par exemple par auto-collimation. Placer une autre lentille sur le chemin optique et placer un écran dans le plan focal. Introduire la lamelle de lycopode entre les deux lentilles et observer la tache d'Airy. On observe une tache d'Airy résultant de la diffraction de N pupilles aléatoires. Par théorème de Babinet, on obtient en fait la même figure de diffraction que pour une pupille circulaire : une tâche d'Airy. Mesurer le rayon de la tache d'Airy et expliquer que du fait de la figure d'interférences de N pupilles aléatoirement réparties, on ne peut pas utiliser une caméra à cause de problème de contraste (la figure est N fois plus brillante au centre).

La mesure du rayon donne une mesure de l'angle par la formule $R = f'\theta$.

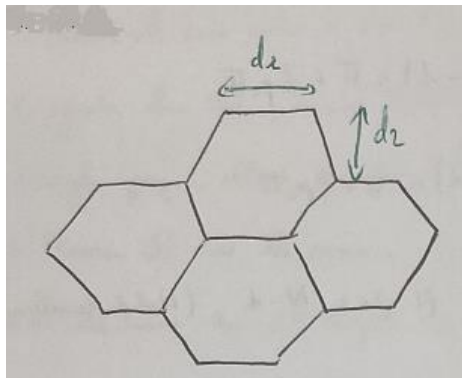
En mesurant l'angle θ , on remonte à la taille D du lycopode par la formule de diffraction classique, résultat des fonctions de Bessel : $\theta = \frac{1,22\lambda}{D}$

Pour régler l'épurateur de faisceaux :

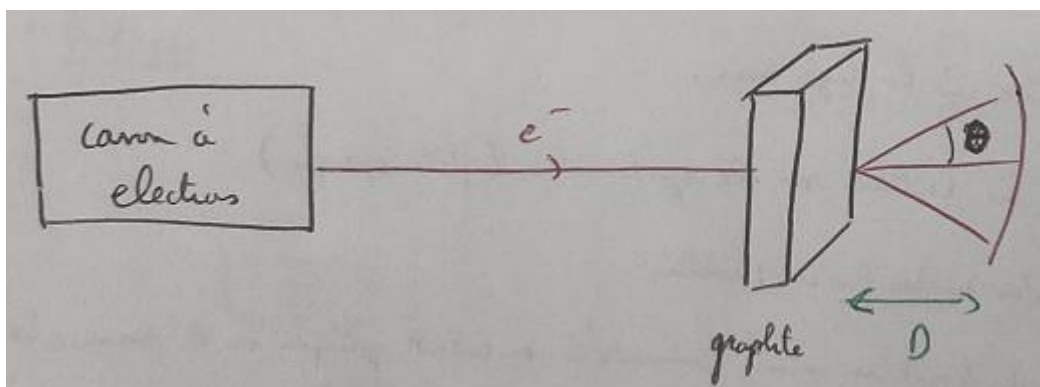
Enlever l'objectif de microscope et mettre le diaphragme. Utiliser les 4 vis pour régler l'alignement du laser (ne pas trop dévisser) : traduire le diaphragme et corriger l'alignement si nécessaire (le faisceau doit traverser peu importe la position du diaphragme sur le rail). Mettre l'objectif de microscope et le régler pour avoir le maximum de luminosité. Charioter le diaphragme avec la vis micrométrique pour se placer dans le plan focal de l'objectif de microscope.

III Mesure de longueurs microscopiques

Le but est de remonter aux deux distances inter-réticulaires du réseau du cristal de graphite, notées d_1 et d_2 .



Pour cela, on va utiliser le fait que pour des énergies assez faibles, les électrons ont un comportement ondulatoire, et sont susceptibles d'être diffractés par la maille du graphite. On utilise une ampoule à vide : filament de tungstène qui est chauffé et qui libère des électrons qui sont ensuite accélérés par une différence de potentiel entre deux électrodes (2 minutes de chauffe). On alimente le système par une tension de 6 V, on fait varier U de 2,5 kV à 5 kV. Le faisceau d'électrons qui va diffracter sur le graphite est à 13,5 cm, on va observer 2 cercles sur un papier phosphorescent. Le rayon de ces cercles est relié aux distances inter-réticulaires du réseau du graphite. Ne pas dépasser 5 kV et ne pas dépasser 5 minutes.



On considère les électrons avec une tension U : $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$

On a également : $\lambda_{dB} = \frac{h}{\sqrt{2eUm}}$

Diffraction \rightarrow relation de Bragg : $2d_i \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = n\lambda$, $n = 1$ (ordre 1)

Ainsi, $\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{h}{2d_i\sqrt{2eUm}}$, de plus $\sin(\theta) = \frac{r_i}{D}$

Approximation des petits angles : $\sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \sim \frac{\theta}{2} \sim \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{r_i}{2D}$, on a donc : $r_i = \frac{hD}{d_i\sqrt{2eUm}}$

On trace r_i en fonction de $\frac{1}{\sqrt{U}}$ et on en déduit d_1 et d_2 .

Les valeurs tabulées sont $d_1 = 0,246$ nm et $d_2 = 0,142$ nm

Conclusion

On a réussi à mesurer des longueurs avec une très grande gamme d'ordres de grandeur. Pour cela, on a utilisé différentes méthodes : interférométrie, diffraction.

Bibliographie

-Physique expérimentale, De Boeck