

Examen de Physique expérimentale

23 mai 2005

1 L'expérience de Michelson (10 points)

L'expérience de Michelson a été dessinée pour tester la théorie de l'éther. A l'époque on considérait que l'éther était immobile dans l'univers et en conséquence la vitesse de la terre par rapport à l'éther était plus grande que 30km/s (vitesse de translation de la Terre par rapport au Soleil). L'interféromètre était monté sur un bloc de granite qui pouvait être tourné. On appelle φ l'angle formé entre le bras 1 de l'interféromètre et la vitesse de translation de la terre. Par des considérations de physique classique on peut montrer que le déplacement maximum des franges Δn_{max} entre la position $\varphi = 0$ et $\varphi = \pi/2$ est :

$$\Delta n_{max} = \frac{(l_1 + l_2)v^2}{\lambda c^2}$$

où v est la vitesse de translation de la Terre par rapport à l'éther, c la vitesse de la lumière, l_1 et l_2 les longueurs des deux bras de l'interféromètre et λ la longueur d'onde de la lumière. En sachant que dans l'interféromètre construit par Michelson $l_1 \simeq l_2 = 11m$ et $\lambda \simeq 0.5\mu m$, on s'attend, si la théorie de l'éther est vraie, $\Delta n_{max} \geq 0.44$. Dans l'expérience la lecture de la position de φ entre 0 et 2π était faite en 16 points. Michelson fait une série de mesure pendant 3 jours 2 fois par jour une à midi et l'autre le soir. A midi il fait tourner l'interféromètre dans le sens contraire du soir. A la fin de la série il moyenne les résultats de la façon suivante. Pour chacune des 16 positions il moyenne séparément les mesures faites le matin et celles faites le soir. Après il moyenne les mesures des 9 positions entre 0 et π avec celles des 9 positions entre π et 2π . Les résultats sont reportés dans la Tableau I.

$\frac{\delta\varphi}{\pi}$	n (midi)	n (soir)
0	0.784	1.047
1	0.762	1.062
2	0.755	1.063
3	0.738	1.081
4	0.721	1.088
5	0.720	1.109
6	0.715	1.115
7	0.692	1.114
8	0.661	1.121

TAB. 1 – n est le nombre de franges

Tracer les données

- Pourquoi est il correct de moyenner les mesures entre 0 et π avec les mesures entre π et 2π ?
- En sachant que chaque valeur du tableau est la moyenne de 12 mesures et que la déviation standard d'une mesure était $\simeq 0.1$ franges évaluer l'erreur statistique sur la moyenne de chaque valeur.

Sur la base des données du tableau, Michelson affirme que le décalage des franges correspondant à une rotation de $\pi/2$ de l'interféromètre était inférieur à 0.02 franges. Sur la base de cette affirmation la théorie de l'éther fut modifiée. En regardant le tableau cette conclusion semble étrange.

- Quel type d'analyse des données a fait Michelson pour faire cette affirmation ? Sur la base de cette analyse est il raisonnable dire que la théorie de l'éther est incompatible avec les résultats expérimentaux ?
- Quelle sensibilité serait nécessaire pour mettre en évidence la rotation de la terre en utilisant les mesures du matin et celles du soir ?
- Pourquoi Michelson fait tourner l'interféromètre dans deux directions opposées le matin et le soir ? Quelle sont les raisons pour avoir une dérive des données à midi contraire à celle du soir ? (chercher la réponse dans les défauts de l'appareil).

2 Masse inertielle et masse gravitationnelle (10 points)

L'équivalence de la masse inertielle et de la masse gravitationnelle est un des postulats de la relativité générale. Il n'y a pas de raison logique pour l'affirmer. Uniquement la preuve expérimentale peut la justifier.

Il y a plusieurs méthodes pour mesurer cette équivalence. Toutes sont basées sur l'utilisation de masses équivalentes de matériaux différents, par exemple Al et Cu. Supposons que j'appelle M_{1G} et M_{1i} les masses gravitationnelles et inertielles de l'Al et M_{2G} et M_{2i} celles du Cu, alors le paramètre qui identifie l'universalité de la chute libre est :

$$\mu = 2 \frac{(M_{1G}/M_{1i}) - (M_{2G}/M_{2i})}{(M_{1G}/M_{1i}) + (M_{2G}/M_{2i})}$$

- a) Pourriez vous justifier pour quelles raisons ce paramètre est raisonnable? (Pensez à une expérience de chute libre).

La limite supérieure de μ est 10^{-12} et on peut l'obtenir en utilisant un pendule de torsion et la force centrifuge due à la rotation de la Terre. Supposons que le pendule de torsion est formé par une baguette, de masse négligeable et de longueur $b = 20cm$, suspendue à un fil de quartz d'épaisseur $a = 20\mu m$ et de longueur $l = 0.8m$. Les deux masses $M_{1G} \simeq M_{2G} \simeq 1Kg$ sont attachées aux deux extrémités de la baguette. On fait l'hypothèse que

$$M_{1G} = M_{1i} + \delta M_{1G}$$

et

$$M_{1G} = M_{2i} + \delta M_{2G}$$

- b) Montrer que, en première approximation, le couple exercé sur le pendule de torsion par la force centrifuge est :

$$T = \frac{b}{4} (\delta M_{1G} - \delta M_{2G}) \Omega_{\oplus}^2 R_{\oplus} \sin(2\theta) \cos(\varphi)$$

où Ω_{\oplus} est la vitesse de rotation de la Terre, R_{\oplus} le rayon de la Terre, θ la latitude et φ l'angle entre la baguette et la normale au plan formé par la force centrifuge et la direction du fil de torsion.

- c) Pourquoi est il important d'utiliser la force centrifuge et non l'attraction d'une autre masse, comme dans l'expérience de Cavendish?

- d) Pourquoi dans les expériences le pendule est il mis en rotation ($\varphi = \omega t$) ?
- e) La constante élastique du fil est $C \simeq 3 \cdot 10^{-9} N \cdot m/rad$. La détection de la rotation de l'angle de torsion du fil est faite par la technique du levier optique. La sensibilité du système de mesure à la sortie des amplificateurs est $10^{-3} rad/V$ et son bruit plus le bruit de l'environnement est $10^{-3} V$ à la fréquence de rotation du pendule. Quelle est la valeur la plus petite de μ que l'on peut estimer avec ce système ?

$$\Omega_{\oplus} = 7.27 \cdot 10^{-5} rad/s \quad R \simeq 6.4 \cdot 10^6 m \quad \text{et} \quad \theta = \pi/4$$

$$C = \frac{Y \pi (a/2)^4}{4 (1 + \sigma) l}$$

$Y = 400 GPa$ est le module de Young du fil et $\sigma \simeq 0.3$ le coefficient de Poisson.