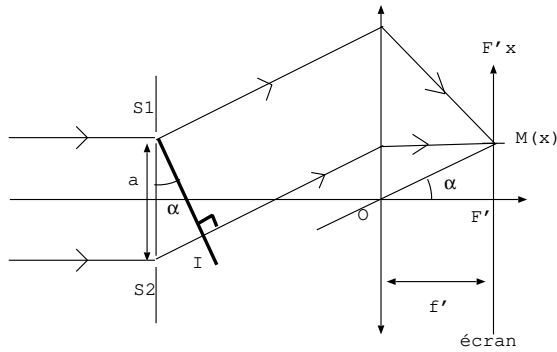


Correction DS 2 de physique

I. Montage de Fraunhofer

1.



Par principe de retour inverse de la lumière, M se comporte comme une source et entre la source M et la surface d'onde S_1I le chemin optique est constant, on a donc $(S_1M) = (IM)$.

$$\delta_{2/1}(M) = (S_2M) - (S_1M) = (S_2I) + (IM) - (S_1M) = S_2I = \frac{ax}{f'}$$

avec $\sin \alpha = \frac{S_2I}{a} \approx \alpha$ et $\tan \alpha = \frac{x}{f'} \approx \alpha$

L'interfrange est la distance entre les milieux de deux franges sombres ou brillantes consécutives.

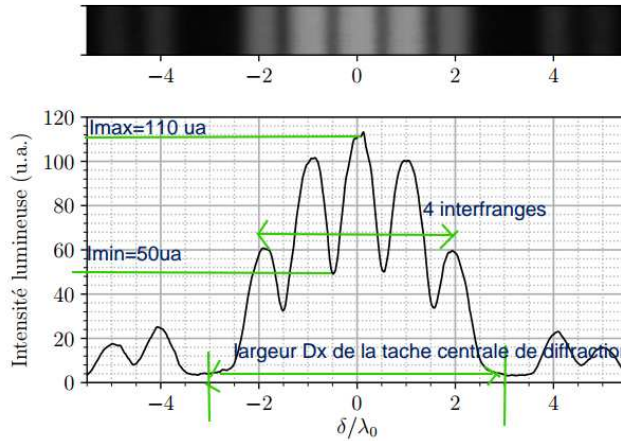
Soit x_k la position des franges brillantes, on a $i = x_{k+1} - x_k$.

Les franges brillantes correspondent à des ordres d'interférences entiers soit $p = \frac{ax_k}{\lambda f'} = k$ entier donc

$$x_k = \frac{k\lambda f'}{a} \text{ et donc } i = \frac{\lambda f'}{a}.$$

2. Les franges sont perpendiculaires à la direction S_1S_2 . Les franges sont verticales donc la direction S_1S_2 est horizontale.

3. On sait que plus la fente est étroite et plus la diffraction est importante, ce qui signifie que les rayons s'écartent plus de leur direction initiale. On doit donc avoir Δx inversement proportionnel à b . La réponse c est à exclure car elle n'est pas homogène. On a donc $\Delta x = \frac{2f'\lambda}{b}$ (réponse a).



On lit sur la courbe intensité que la tache centrale de diffraction se situe entre $x = -3 \text{ cm}$ et $x = +3 \text{ cm}$ (elle est ici difficile à mesurer car la zone où l'intensité est nulle est large, je prends le milieu de cette zone pour la mesure), soit $\Delta x = 6 \text{ cm}$. On en déduit $b = \frac{2f'\lambda}{\Delta x} = 8,4 \mu\text{m}$.

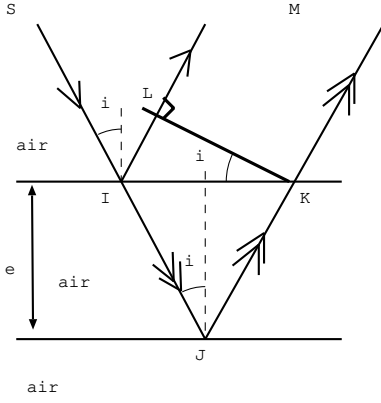
4. On mesure la distance pour 4 interfranges soit $4i = 3,8 \text{ cm}$ et $i = 0,95 \text{ cm}$. On en déduit $a = \frac{\lambda f'}{i} = 270 \mu\text{m}$.

5. Le contraste des franges est défini par $C = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$ où $I_{\max}$ est l'intensité des franges brillantes et $I_{\min}$ l'intensité des franges sombres.

Au centre de l'écran sur la courbe intensité on lit $I_{\max} = 112 \text{ ua}$ et $I_{\min} = 52 \text{ ua}$. Le contraste est donc $C = \frac{112 - 52}{112 + 52} = 0,37$. Cette valeur de contraste n'est pas bonne, effectivement à l'écran on a du mal à distinguer les franges brillantes des franges sombres.

II. Le colibri aux mille couleurs

1.



Par principe de retour inverse de la lumière, M se comporte comme une source et entre la source M et la surface d'onde KL le chemin optique est constant, on a donc $(KM) = (LM)$.

$$\delta_{2/1}(M) = (SI) + (IJ) + (JK) + (KM) - (SI) - (IL) - (LM) = (IJ) + (JK) - (IL) = 2IJ - IL$$

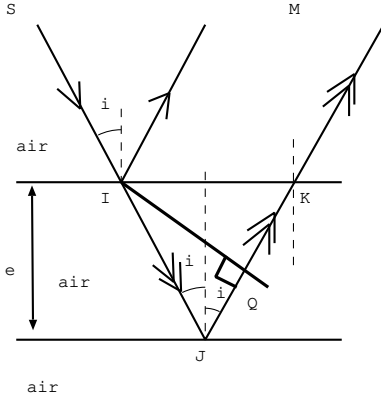
$$\text{avec } \cos i = \frac{e}{IJ} \text{ donc } IJ = \frac{e}{\cos i}$$

$$\text{avec } \tan i = \frac{IK/2}{e} \text{ donc } IK = 2e \tan i$$

$$\text{avec } \sin i = \frac{IL}{IK} \text{ donc } IL = IK \sin i = 2e \frac{\sin^2 i}{\cos i}$$

$$\text{On a donc } \delta_{2/1}(M) = \frac{2e}{\cos i} - 2e \frac{\sin^2 i}{\cos i} = \frac{2e}{\cos i} (1 - \sin^2 i) = 2e \cos i.$$

Il y a une deuxième façon de procéder en utilisant la surface d'onde passant par I .



Par principe de retour inverse de la lumière, M se comporte comme une source et entre la source M et la surface d'onde IQ le chemin optique est constant, on a donc $(IM) = (QM)$.

$$\delta_{2/1}(M) = (SI) + (IJ) + (JQ) + (QM) - (SI) - (IM) = (IJ) + (JQ) = IJ + JQ$$

$$\text{avec } \cos i = \frac{e}{IJ} \text{ donc } IJ = \frac{e}{\cos i}$$

$$\text{avec } \cos(2i) = \frac{JQ}{IJ} \text{ donc } JQ = IJ \cos(2i)$$

$$\text{On a donc } \delta_{2/1}(M) = \frac{e}{\cos i} (1 + \cos(2i)) = \frac{2e}{\cos i} (2 \cos^2(2i)) = 2e \cos i.$$

2. Pour faire le lien entre les deux questions, l'angle entre la direction incidente et la direction de la lumière réfléchie est $\alpha = 2i$.

$$\text{On nous dit qu'on observe dans l'ordre 1 soit } p = \frac{\delta}{\lambda} = \frac{2e \cos i}{\lambda} = +1 \text{ donc } i = \arccos\left(\frac{\lambda}{2e}\right).$$

Pour le rouge $\lambda_r = 750 \text{ nm}$ et pour le bleu $\lambda_b = 400 \text{ nm}$.

On trouve la valeur de e à l'aide de la photo des microlamelles.

On mesure en moyenne une épaisseur de 2 à 3 mm , on peut prendre en moyenne $e = 2,5 \cdot 10^{-3} / 6000 = 420 \text{ nm}$ (attention de prendre en compte le grandissement de 6000).

On a donc pour le rouge $i = 27^\circ$ soit $\alpha = 54^\circ$ et pour le bleu $i = 61^\circ$ soit $\alpha = 122^\circ$.

III. Le pendule

Partie A: le pendule dans la salle de TP

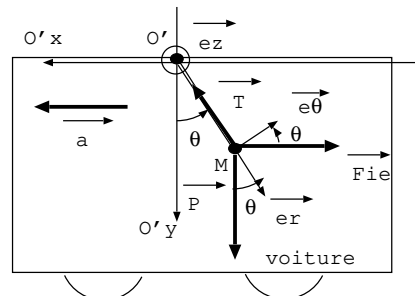
1. $\mathcal{R}'$ est en translation rectiligne non uniforme dans $\mathcal{R}$ donc $\mathcal{R}'$ n'est pas galiléen.

2. Dans $\mathcal{R}'$, M décrit un arc de cercle soit en coordonnées polaires $\overrightarrow{O'M} = l\vec{e}_r$, $\vec{v}(M) = l\dot{\theta}\vec{e}_\theta$ et $\vec{a} = l\ddot{\theta}\vec{e}_\theta - l\dot{\theta}^2\vec{e}_r$.

3. Dans $\mathcal{R}'$, M subit la tension du fil $\vec{T} = -T\vec{e}_r$, le poids $\vec{P} = mg(\cos\theta\vec{e}_r - \sin\theta\vec{e}_\theta)$, la force de frottements $\vec{f} = -mhl\dot{\theta}\vec{e}_\theta$ et la force d'inertie d'entraînement ; $\vec{F}_{ie} = ma(\cos\theta\vec{e}_\theta + \sin\theta\vec{e}_r)$.

On applique la RFD à M dans $\mathcal{R}'$: $m\vec{a} = \vec{P} + \vec{T} + \vec{f} + \vec{F}_{ie}$

En projection sur $\vec{e}_\theta$: $ml\ddot{\theta} - mg \sin\theta + ma \cos\theta - mhl\dot{\theta}$



Au petits angles $\sin \theta \approx \theta$ et $\cos \theta \approx 1$ soit $ml\ddot{\theta} = -mhl\dot{\theta} - mg\theta + ma$ ou encore $\ddot{\theta} + h\dot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = \frac{a}{l}$.

Par identification $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$, $\frac{\omega_0}{Q} = h$ donc $Q = \frac{1}{h}\sqrt{\frac{g}{l}}$ et $\theta_e = \frac{a}{g}$.

4. Plus les frottements sont faibles (soit h petit) et plus l'équation se rapproche de l'équation d'un oscillateur harmonique, le système va osciller plus longtemps: c'est le régime pseudo-périodique observé courbe 2 pour $h = 2 \text{ s}^{-1}$ et courbe 3 pour $h = 4 \text{ s}^{-1}$.

Quand h est grand, les frottements sont importants et le système n'oscille pas, il va à sa position d'équilibre sans osciller: c'est le régime apériodique observé courbe 1 pour $h = 8 \text{ s}^{-1}$.

5. La solution particulière de l'équation différentielle est $\theta = \theta_e$.

La solution générale se trouve en écrivant l'équation caractéristique dont le discriminant est négatif pour le régime pseudo-périodique: $r^2 + \frac{\omega_0}{Q}r + \omega_0^2 = 0$ soit $\Delta = (\frac{\omega_0}{Q})^2 - 4\omega_0^2 < 0$.

Les solutions sont $r = \frac{-\omega_0}{2Q} \pm \frac{\sqrt{-\Delta}}{2}$. Soit $\theta(t) = \theta_e + e^{\frac{-\omega_0 t}{2Q}} (A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t))$ avec $\omega = \frac{\sqrt{-\Delta}}{2}$.

On lit $\theta_e = 0,205 \text{ rad}$, $2T = 3,2 \text{ s}$ soit $T = 1,6 \text{ s}$, $\theta(t=0) = 0,3 \text{ rad}$ et $\theta(t=T) = 0,225 \text{ rad}$ soit $\delta = \ln(\frac{0,3 - 0,205}{0,225 - 0,205}) = 1,6$.

Partie B: le pendule de Foucault

6. Dans le référentiel terrestre en rotation dans le référentiel géocentrique galiléen, le pendule subit la tension du fil $\vec{T}$, son poids $\vec{P}$ et la force d'inertie de Coriolis $\vec{F}_{ic} = -2m\vec{\Omega}_T \wedge \vec{v}(M)_{\mathcal{R}'}$ avec $\vec{\Omega}_T = \Omega_T(\cos \lambda \vec{e}_y + \sin \lambda \vec{e}_z)$ et $\vec{v}(M)_{\mathcal{R}'} = \dot{x}\vec{e}_x + \dot{y}\vec{e}_y$. On a donc $\vec{F}_{ic} = -2m\Omega_T(\dot{x} \cos \lambda (-\vec{e}_z) + \dot{x} \sin \lambda (\vec{e}_y) + \dot{y} \sin \lambda (-\vec{e}_x)) = 2m\Omega_T \sin \lambda (\dot{y}\vec{e}_x - \dot{x}\vec{e}_y) + 2m\Omega_T \cos \lambda \dot{x}\vec{e}_z$. Par identification on a $\omega = \Omega_T \sin \lambda$ et $\omega' = \Omega_T \cos \lambda$.

La force d'inertie d'entraînement n'intervient pas explicitement car elle est comprise dans le poids. Le poids est la somme de la force d'inertie d'entraînement et de l'attraction de la Terre.

7. On écrit la RFD au pendule dans le référentiel terrestre: $m\vec{a}(M) = \vec{P} + \vec{T} + \vec{F}_{ic}$ avec $\vec{a}(M) = \ddot{x}\vec{e}_x + \ddot{y}\vec{e}_y$.

On projette sur Oz : $0 = -mg + T_f + 2m\omega'\dot{x}$, en négligeant la force de Coriolis, on a $T_f = mg$.

8. On projette la RFD sur Ox : $m\ddot{x} = 2m\omega\dot{y} - \frac{mgx}{l}$ d'où en simplifiant par la masse $\ddot{x} = 2\omega\dot{y} - \frac{gx}{l}$

On projette la RFD sur Oy : $m\ddot{y} = -2m\omega\dot{x} - \frac{mgy}{l}$ d'où en simplifiant par la masse $\ddot{y} = -2\omega\dot{x} - \frac{gy}{l}$.

Par identification on a $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$.

9. 9.a. $x(t+dt) = x(t) + \dot{x}(t)dt$ et $\dot{x}(t+dt) = \dot{x}(t) + \ddot{x}(t)dt$.

On reconnaît ligne 15 l'expression de la forme $\ddot{x} = 2\omega\dot{y} - \omega_0^2 x$ et ligne 16, l'expression $\ddot{y} = -2\omega\dot{x} - \omega_0^2 y$.

Ainsi $C1$ représente $\ddot{x}$, $C2$ représente $\ddot{y}$.

$l1$ et $l2$ sont les listes des valeurs de x et de y aux instants $t_i = idt$.

$l3$ et $l4$ sont les listes des valeurs de $\dot{x}$ et de $\dot{y}$ aux instants $t_i = idt$.

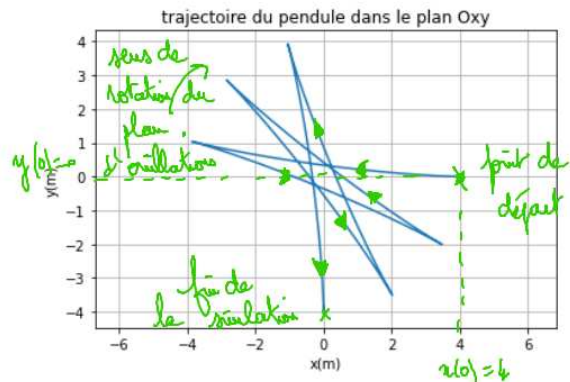
ligne 22: `plt.plot(l1,l2)` pour tracer y en fonction de x

9.b. On lit $l1 = [4]$ soit $x(t=0) = 4 \text{ m}$, $l2 = [0]$ soit $y(t=0) = 0$, de même $l3 = l4 = [0]$ correspond à $\dot{x}(t=0) = \dot{y}(t=0) = 0$.

9.c. On lit ligne 5 $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$ avec $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$ et $l = 67 \text{ m}$. On a donc $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 16,7 \text{ s}$.

On lit ligne 6, $\omega = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ rad/s}$ soit $T = \frac{2\pi}{\omega} = 196 \text{ s}$.

La durée totale d'acquisition est $\Delta t = Ndt = 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 50 \text{ s}$.



9.d. On voit sur la trajectoire que le pendule fait trois allers-retours ce qui est cohérent avec le

fait que $\Delta t = 3T_0$. La pulsation ω_0 correspond à la pulsation des oscillations du pendule dans son plan d'oscillations.

On observe que le plan d'oscillations tourne ici dans le sens horaire. On a $\omega\Delta t = 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 50 = 1,6 \text{ rad} = \pi/2$. Effectivement on observe bien que le plan d'oscillations a tourné d'un angle $\pi/2$. La pulsation ω correspond donc à la pulsation du plan d'oscillations.

9.e. Sur la courbe 1, les conditions initiales sont inchangées, le plan d'oscillations a tourné d'un quart de tour comme précédemment mais dans l'autre sens. On a donc pris $\omega = -3,2 \cdot 10^{-2}$ (ligne 6).

Sur la courbe 2, le plan d'oscillations ne tourne pas, on a donc pris $\omega = 0$ (ligne 6).

9.f. D'après l'étude théorique on a $\omega = \Omega_T \sin \lambda = 4,98 \cdot 10^{-5} \text{ rad/s}$ soit une période $T = \frac{2\pi}{\omega} = 1,26 \cdot 10^5 \text{ s} = 35 \text{ h}$.