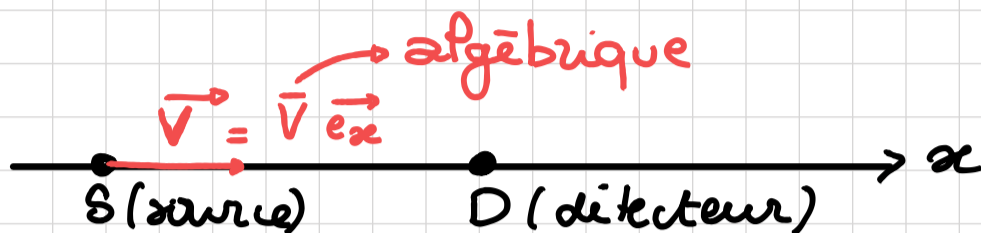


XENS-A-PC-2020 CORRIGÉ

I - Dispositif expérimental 16 points

Q1 x L'effet mis en jeu est l'effet Doppler. 1 pt

x Formule :



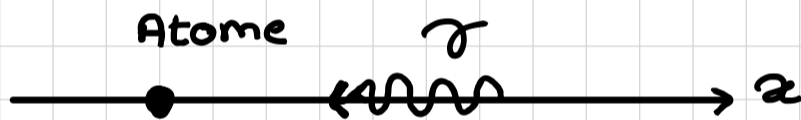
x La source émet ds son référentiel une onde de fréquence ν_0

x Le détecteur reçoit une onde de fréquence ν telle que :

$$\boxed{\nu = \nu_0 + \Delta\nu} \quad \text{ou} \quad \boxed{\Delta\nu = \nu_0 \frac{\bar{v}}{c}} \quad (2 \text{ pts ins})$$

(en considérant $|\bar{v}| \gg c$)

Q2 x On considère que les photons sont absorbés frontalement



1 pt x Etude d'une $n^{\text{ième}}$ collision At / γ (Ref du laboratoire = Rg, système {at, γ } isolé)

1 pt conservation \vec{p} : $m v_m - \hbar k = m v_{m+1}$

$\Rightarrow \Delta v = v_{m+1} - v_m = -\frac{\hbar k}{m} < 0$ (atome freiné)

x Le nombre de collisions pour passer de $v_i = 720 \text{ m/s}$

à $v_f = 40 \text{ m/s}$ est donc :

1 pt
$$N = \frac{v_f - v_i}{\Delta v} = \frac{m}{\hbar k} (v_i - v_f) = \frac{M}{N_A} \times \frac{\lambda}{h} (v_i - v_f)$$

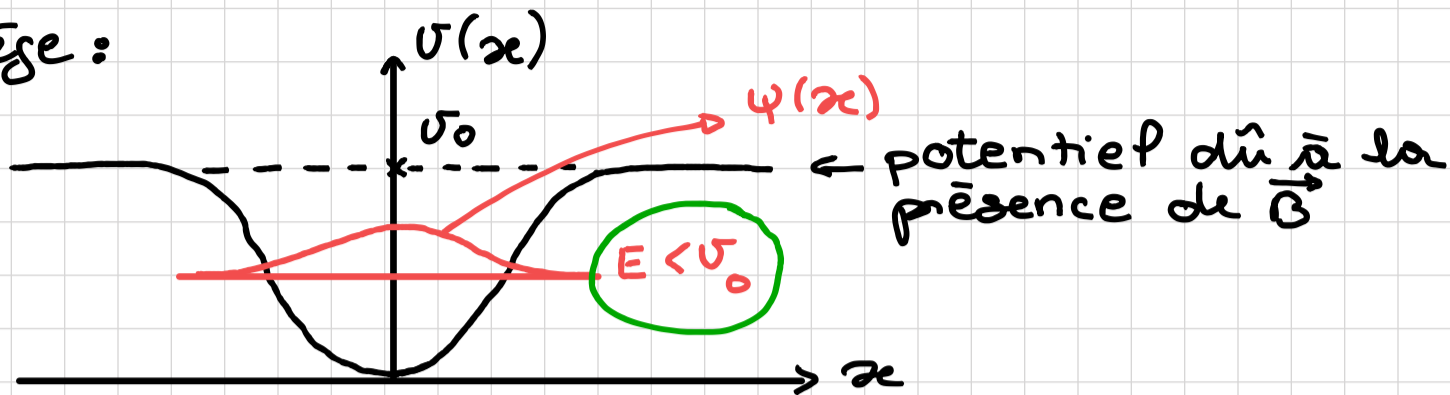
x odg

- $M_{Na} \approx 23 \text{ g/mol} = 23 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$
- $N_A \approx 6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \Rightarrow N = \frac{23 \times 6 \times 10^{-3} \times 10^{23} \times (720 - 40)}{6 \times 6.8 \times 10^{-34}} \approx 2 \times 10^4$
- $\lambda \approx 0,6 \mu\text{m} = 6 \times 10^{-7} \text{ m}$ (circled in green)
- $h \approx 6,8 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

~ 2 x 10⁴
(2 pts sec)

Q3 x Pour pouvoir piéger un atome, il faut que son énergie soit inférieure à la profondeur du piège:

1pt



x Les \neq atomes sont piégés dans le puits, on diminue alors la valeur de $V_0 \Rightarrow$ Les atomes de plus grande énergie peuvent alors s'échapper du puits (ceux qui ont les plus grandes vitesses) ($E_c = \frac{p^2}{2m} > V_0$)

1pt

Q4 x Les atomes qui restent piégés dans le puits sont ceux qui ont une énergie (et donc une énergie cinétique) inférieure à $V_0 \Rightarrow$ l'énergie cinétique moyenne a

1pt

donc diminué et donc température également (d'après la théorie cinétique des GP: $\langle E_c \rangle \propto \frac{1}{2} k_B T$)

Q5 x On considère que le nuage d'atomes est un GP, on a donc: $v_q = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$ et $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8k_B T}{m\pi}}$ 1pt
 \Rightarrow seule v_q est exigible, il fallait donc entendre pour « vitesse moyenne », vitesse quadratique moyenne (très proches)

$$\langle v \rangle = v_q = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad \text{1pt}$$

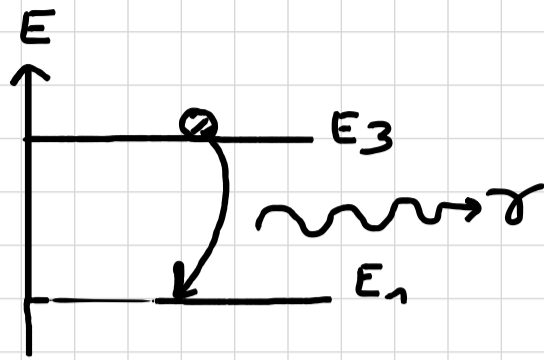
AN: $\langle v \rangle^2 = \frac{3 \times 6 \times 5 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-2}} = 4,5 \times 10^{-4}$

$\langle v \rangle = 2 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ 1pt

Q6 x IP faut limiter les collisions entre atomes ds le gaz.

1 pt (La cohérence du rayon est détruite par les collisions).

Q7 x transition radiative: (3 → 1)

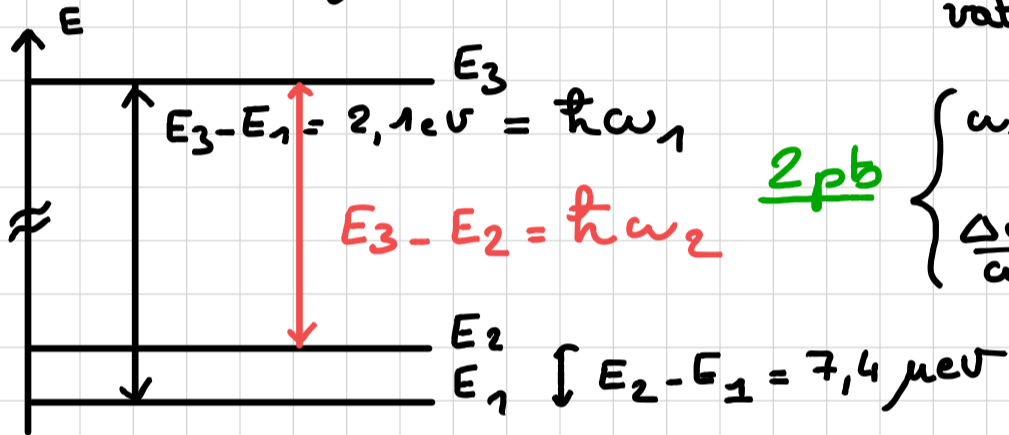


1 pt

$$E_3 - E_1 = \hbar\omega = \frac{hc}{\lambda}$$

II - Etude de l'analogie mécanique (45 points)

Q8 x Niveaux d'énergie:



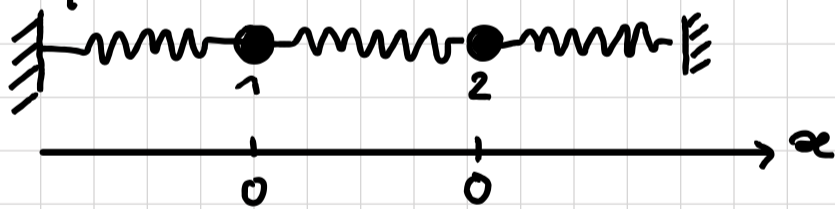
valeurs numériques:

$$\begin{cases} \omega_1 \sim \omega_2 = 3 \times 10^{15} \text{ rad/s} \\ \frac{\Delta\omega}{\omega_1} = \frac{E_2 - E_1}{E_3 - E_1} \sim 3 \times 10^{-6} \ll 1 \end{cases}$$

! eV non donnée (et de e)

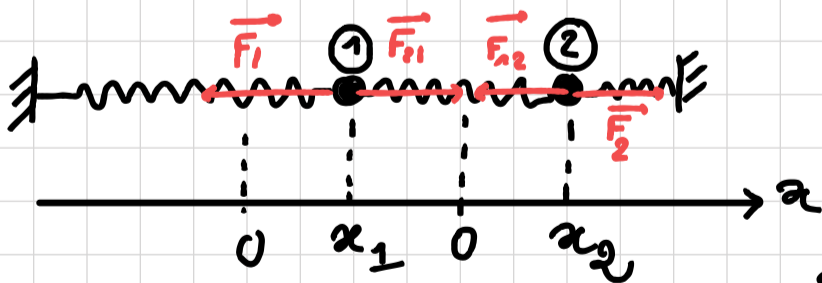
$$\Rightarrow \omega_2 = \frac{1}{\hbar} (E_3 - E_2) = \frac{1}{\hbar} \left[\underbrace{(E_3 - E_1)}_{\hbar\omega_1} - \underbrace{(E_2 - E_1)}_{\ll \hbar\omega_1} \right] \sim \omega_1 \quad \underline{\underline{1 \text{ pt}}}$$

Q9 x Equilibre:



(longueurs à vide identiques)

x Mouvement:



À cela se rajoute

- x $\vec{F} = F \vec{e}_x$ appliquée en ①
- x forces de frottement

Forces:

$$\begin{cases} \vec{F}_1 = - (k_1 - k) x_1 \vec{e}_x \\ \vec{F}_{21} = - k (x_1 - x_2) \vec{e}_x \\ \vec{F}_{12} = + k (x_1 - x_2) \vec{e}_x \\ \vec{F}_2 = - (k_2 - k) x_2 \vec{e}_x \end{cases}$$

4pts

PFD à ①

1 pt

$$m \ddot{x}_1 = - (k_1 - k) x_1 - k (x_1 - x_2) - m \gamma_1 \dot{x}_1$$

PFD à ②

$$m \ddot{x}_2 = - (k_2 - k) x_2 + k (x_1 - x_2) - m \gamma_2 \dot{x}_2$$

1 pt

D'où :

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + \gamma_1 \dot{x}_1 + \omega_1^2 x_1 = \omega^2 x_2 + \frac{F}{m} \\ \ddot{x}_2 + \gamma_2 \dot{x}_2 + \omega_2^2 x_2 = \omega^2 x_1 \end{cases}$$

1 pt

Pour la suite :
 $\omega_1 = \omega_2$

Q10) on passe en représentation ϕ :

1 pt

$$\begin{cases} x_i(t) = X_i \cos(\omega t + \varphi_i) \rightarrow \underline{x}_i(t) = \underline{X}_i e^{j\varphi_i} e^{j\omega t} \\ F(t) = F \cos(\omega t + \varphi) \rightarrow \underline{F}(t) = \underline{F} e^{j\omega t} \end{cases}$$

* Les équations précédentes donnent :

1 pt

$$\begin{cases} \underline{x}_1 (-\omega^2 + j\omega\gamma_1 + \omega_1^2) = \omega^2 \underline{x}_2 + \frac{F}{m} \\ \underline{x}_2 (-\omega^2 + j\omega\gamma_2 + \omega_2^2) = \omega^2 \underline{x}_1 \end{cases} \quad (1)$$

Q11) * En l'absence d'amortissement :

1 pt

$$\begin{cases} \underline{x}_1 (-\omega^2 + \omega_1^2) = \omega^2 \underline{x}_2 + \frac{F}{m} \\ \underline{x}_2 (-\omega^2 + \omega_1^2) = \omega^2 \underline{x}_1 \end{cases}$$

1 pt

* Les pulsations propres sont les pulsations propres du système \Rightarrow pour les déterminer on se place en régime libre

$$\begin{cases} \underline{x}_1 (-\omega^2 + \omega_1^2) = \omega^2 \underline{x}_2 \\ \underline{x}_2 (-\omega^2 + \omega_1^2) = \omega^2 \underline{x}_1 \end{cases}$$

Et on annule le déterminant du système :

$$\Delta = (\omega^2 - \omega_1^2)^2 - \omega^4 = 0$$

$$\Rightarrow \omega^2 - \omega_1^2 = \pm \omega^2$$

2 pts (ins)

$$\begin{cases} \omega_+^2 = \omega_1^2 + \omega^2 \\ \omega_-^2 = \omega_1^2 - \omega^2 \end{cases}$$

* PS : on peut également exprimer \underline{x}_1 et \underline{x}_2 et déterminer ω pour que $|\underline{x}_1|$ et $|\underline{x}_2|$ soient maximales

$$\times \Omega_r = \omega_+ - \omega_-$$

$$= \omega_1 \sqrt{1 + \frac{\Omega^2}{\omega_1^2}} - \omega_1 \sqrt{1 - \frac{\Omega^2}{\omega_1^2}} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \frac{\Omega}{\omega_1} \ll 1$$

$$\approx \omega_1 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\Omega^2}{\omega_1^2} \right) - \omega_1 \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\Omega^2}{\omega_1^2} \right)$$

$$\Rightarrow \boxed{\Omega_r \approx \frac{\Omega^2}{\omega_1}} \quad \underline{2 \text{ pts}} \text{ (ins)}$$

Q12 \times on reprend le système donné par (1) en annulant τ_2 et en prenant toujours $\omega_1 = \omega_2$:

$$\underline{1 \text{ pt}} \quad \begin{cases} \underline{x}_1 (-\omega^2 + j\omega\tau_1 + \omega_1^2) = \Omega^2 \underline{x}_2 + \frac{F}{m} \\ \underline{x}_2 (-\omega^2 + \omega_1^2) = \Omega^2 \underline{x}_1 \end{cases}$$

\times En remplaçant ω par $\omega_1 + \delta\omega$ on obtient:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega \text{ par } \omega_1 + \delta\omega \\ \Omega^2 \text{ par } \omega_1 \Omega_r \end{array} \right.$$

$$\begin{cases} \underline{x}_1 (-\cancel{\omega_1^2} - \delta\omega^2 - 2\omega_1\delta\omega + j\omega_1\tau_1 + j\delta\omega\tau_1 + \cancel{\omega_1^2}) = \omega_1 \Omega_r \underline{x}_2 + \frac{F}{m} \\ \underline{x}_2 (-\cancel{\omega_1^2} - \delta\omega^2 - 2\omega_1\delta\omega + \cancel{\omega_1^2}) = \omega_1 \Omega_r \underline{x}_1 \end{cases}$$

$$\text{Soit : } \begin{cases} \underline{x}_1 (-\delta\omega^2 - 2\omega_1\delta\omega + j\omega_1\tau_1 + j\delta\omega\tau_1) = \omega_1 \Omega_r \underline{x}_2 + \frac{F}{m} \\ \underline{x}_2 (-\delta\omega^2 - 2\omega_1\delta\omega) = \omega_1 \Omega_r \underline{x}_1 \end{cases} \quad \underline{1 \text{ pt}}$$

Q13 \times on fait l'hypothèse : $\begin{cases} \omega_1 \gg \tau_1 \\ \omega_1 \gg |\delta\omega| \\ \omega_1 \gg \Omega_r \end{cases}$

\times on a donc : $\begin{cases} \delta\omega^2 \ll \omega_1 \delta\omega \quad \underline{1 \text{ pt}} \\ \omega_1 \tau_1 \gg \delta\omega \tau_1 \quad \underline{1 \text{ pt}} \end{cases}$

$$\begin{cases} \underline{x}_1 (-\cancel{\delta\omega^2} - 2\omega_1\delta\omega + j\omega_1\tau_1 + j\cancel{\delta\omega}\tau_1) = \omega_1 \Omega_r \underline{x}_2 + \frac{F}{m} \\ \underline{x}_2 (-\cancel{\delta\omega^2} - 2\omega_1\delta\omega) = \omega_1 \Omega_r \underline{x}_1 \end{cases}$$

$$\times \text{D'où : } \boxed{\begin{cases} \underline{x}_1 (-2\delta\omega + j\tau_1) = \Omega_r \underline{x}_2 + \frac{F}{m\omega_1} \\ -\underline{x}_2 \times 2\delta\omega = \Omega_r \underline{x}_1 \end{cases}} \quad \underline{1 \text{ pt}} \quad (2)$$

Q14 $\times \underline{F} = F$

\times puissance moyenne fournie par $\vec{F}(t)$:

$$\mathcal{P} = \text{Re} \left(\frac{1}{2} \underline{x}_1 \times \underline{F}^* \right) \quad (1 \text{pt})$$

Soit :

→ convention ($\underline{x}_1 = +j\omega \underline{x}_1$)

$$\mathcal{P} = \frac{1}{2} F \text{Re} (+j\omega \underline{x}_1) = -\frac{1}{2} \omega F \text{Im}(\underline{x}_1) \quad (1 \text{pt})$$

↙ ($\omega \approx \omega_1$) (1pt)

Q15 \times Pour retrouver la courbe donnée par la figure 2a,

il faut déterminer \underline{x}_1 :

$$\textcircled{2} \Rightarrow \underline{x}_1 \left(-2\delta\omega + j\gamma_1 + \frac{\omega r^2}{2\delta\omega} \right) = \frac{F}{m\omega_1}$$

Soit :

$$\underline{x}_1 = \frac{F/m\omega_1}{\left(\frac{\omega r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega \right) + j\gamma_1} \quad (1 \text{pt})$$

Avec : $\text{Im}(\underline{x}_1) = \frac{F}{m\omega_1} \times \frac{-\gamma_1}{\left(\frac{\omega r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega \right)^2 + \gamma_1^2}$

D'où :

$$\mathcal{P} = \frac{1}{2} \frac{F^2}{m} \frac{\gamma_1}{\left(\frac{\omega r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega \right)^2 + \gamma_1^2} \quad (1 \text{pt})$$

\times La figure 2a concerne l'abscisse de couplage : $\omega r = 0$

$$\Rightarrow \mathcal{P} = \frac{1}{2} \frac{F^2}{m} \times \frac{\gamma_1}{4\delta\omega^2 + \gamma_1^2} \quad (1 \text{pt})$$

\Rightarrow on retrouve bien la courbe avec :

(2pt) $\left\{ \begin{array}{l} \times \mathcal{P} \xrightarrow{|\delta\omega| \rightarrow \infty} 0 \\ \times \mathcal{P}_{\text{max}} = \mathcal{P}(\delta\omega = 0) = \frac{F^2}{2m\gamma_1} \end{array} \right.$

\times Largeur à mi-hauteur :

$$P(\delta\omega) = \frac{P_{\max}}{2} \Rightarrow \frac{F^2}{2m\gamma_1} \times \frac{1}{1 + \frac{4\delta\omega^2}{\gamma_1^2}} = \frac{F^2}{4m\gamma_1}$$

$$\Rightarrow \frac{4\delta\omega^2}{\gamma_1^2} = 1 \Rightarrow \delta\omega = \pm \frac{\gamma_1}{2}$$

2pt ins $\Rightarrow \Delta(\delta\omega) = \gamma_1$

Q16 x on reprend (2) avec $\delta\omega = 0$ et $\omega_r \neq 0$

$$\begin{cases} \underline{x}_1 (-2\delta\omega + j\gamma_1) = \omega_r \underline{x}_2 + \frac{F}{m\omega_1} \\ -\underline{x}_2 \times 2\delta\omega = \omega_r \underline{x}_1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \underline{x}_1 = 0 \quad \text{et} \quad \underline{x}_2 = \frac{-F}{m\omega_1 \omega_r} \quad \text{et} \quad P = 0 \quad \left. \vphantom{\underline{x}_2} \right\} 1pt$$

Commentaires:

x $\underline{x}_1 = 0 \Rightarrow$ Anti-résonance. 1pt

x $\underline{x}_2 \neq 0 \Rightarrow$ La force \vec{F} ne fournit aucune puissance à la masse 2 pour entretenir son mvt car celle-ci n'est soumise à aucune force de frottement. 1pt

Q17 Déjà fait?

$$\underline{x}_1 = \frac{F/m\omega_1}{\left(\frac{\omega_r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega\right) + j\gamma_1}$$

Q18 $\delta\omega \ll \omega_r \Rightarrow \underline{x}_1 = \frac{F/m\omega_1}{\frac{\omega_r^2}{2\delta\omega} + j\gamma_1}$ 1pt

Q19 x $P = \frac{1}{2} \frac{F^2}{m} \frac{\gamma_1}{\left(\frac{\omega_r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega\right)^2 + \gamma_1^2}$

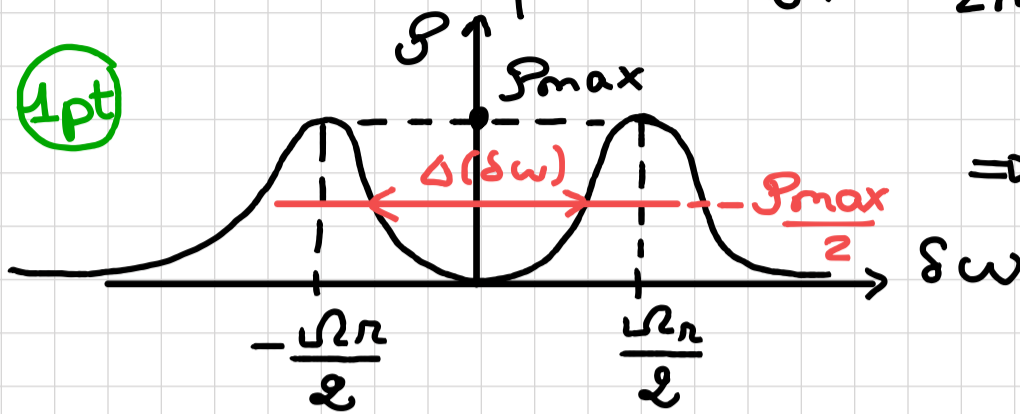
x Analyse rapide de la fonction (paire)

$\left(\begin{array}{l} \bullet P \xrightarrow{|\delta\omega| \rightarrow \infty} 0 \end{array} \right.$

1pt

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \mathcal{P} \xrightarrow{\delta\omega=0} 0 \\ \bullet \mathcal{P}_{\max} = \mathcal{P} \left(|\delta\omega| = \frac{\omega_r \tau_1}{2} \right) = \frac{F^2}{2m\gamma_1} \end{array} \right.$$

graphe 1pt



⇒ on retrouve bien la forme des courbes. 1pt

x Largeur des creux :

on cherche $\delta\omega$ telle que : $\mathcal{P}(\delta\omega) = \frac{\mathcal{P}_{\max}}{2}$ 1pt

$$\Rightarrow \frac{\mathcal{P}_{\max}}{\left(\frac{\omega_r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega \right)^2 \times \frac{1}{\gamma_1^2} + 1} = \frac{\mathcal{P}_{\max}}{2}$$

$$\Rightarrow \frac{\omega_r^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega = \pm \gamma_1$$

$$\Rightarrow 4\delta\omega^2 \pm 2\gamma_1\delta\omega - \omega_r^2 = 0 \quad 1pt$$

$$(\Delta' = \gamma_1^2 + 4\omega_r^2)$$

$$\delta\omega = \pm \frac{\gamma_1}{4} \pm \frac{1}{4} \sqrt{\gamma_1^2 + 4\omega_r^2}$$

1pt

Soit en gardant les valeurs les plus proches de 0

$$\begin{cases} \delta\omega_+ = \frac{1}{4} \left(-\gamma_1 + \sqrt{\gamma_1^2 + 4\omega_r^2} \right) > 0 \\ \delta\omega_- = \frac{1}{4} \left(\gamma_1 - \sqrt{\gamma_1^2 + 4\omega_r^2} \right) < 0 \end{cases}$$

D'où : $\Delta(\delta\omega) = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\gamma_1^2 + 4\omega_r^2} - \gamma_1 \right)$ 1pt

⇒ on constate que $\Delta\omega$ est bien une fonction

1pt

croissante de ω_r

$$\begin{cases} \times \gamma_1 \gg \omega_r \Rightarrow \Delta(\delta\omega) = \frac{\omega_r^2}{\gamma_1} \\ \times \omega_r \gg \gamma_1 \Rightarrow \Delta(\delta\omega) = \omega_r \\ \times \omega_r = 0 \Rightarrow \Delta(\delta\omega) = 0 \text{ (cohérent)} \end{cases}$$

III Transparence induite (15 points)

Q20 $\omega_1 = \frac{2\pi c}{\lambda}$ AN : $\omega_1 = \frac{2 \times 3 \times 3 \times 10^8}{0,6 \times 10^3} = 3 \times 10^{15} \text{ rad/s}$

Q21 x il faut vérifier :

- $\left\{ \begin{array}{l} \bullet \omega_1 \sim \omega \gg \gamma_1 \Rightarrow \text{ok} \quad (1 \text{ pt}) \\ \bullet \omega_1 \sim \omega \gg \Omega_R \Rightarrow \text{ok} \quad (1 \text{ pt}) \end{array} \right.$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_1 = 6,3 \times 10^7 \text{ rad/s} \\ \Omega_R = 0,2 \gamma_1 \end{array} \right.$$

x Pour la suite il faudra vérifier $\delta\omega = \omega - \omega_1 \ll \omega_1$

Q22 x ligne 127 $\Rightarrow \Omega^2 \propto$ intensité lumineuse (I)

x Q11 $\Rightarrow \Omega_R = \frac{\Omega^2}{\omega_1} \Rightarrow \Omega_R \propto I$

Q23 Attention \underline{k} et \underline{n} peuvent être ϕ :

$$\underline{k} = \frac{\omega}{c} \underline{n}$$

Q24 x « la lumière dont la fréquence correspond précisément à la transition $1 \rightarrow 3$ » (l 137-138)

$\Rightarrow \delta\omega = 0$

Q16 \Rightarrow dans ce cas là $S = 0$

→ l'atom ne cède pas d'énergie à la matière

\Rightarrow Le milieu est bien transparent

x on retrouve ce résultat avec l'indice :

$$\underline{n}(\omega) = 1 + \frac{c}{F} \underline{\alpha}_1(\omega)$$

pour $\delta\omega = 0$, on a $\underline{\alpha}_1(\omega) = 0 \Rightarrow \underline{n}_1 = 1$

\Rightarrow Ainsi pour $\omega = \omega_1$, la lumière se propage ds le nuage d'atomes comme ds le vide (anti-resonance)

Q25 x on reprend le calcul de la question 19 : le milieu pourra être considéré comme transparent sur l'intervalle $\Delta(\delta\omega)$ où S est « faible »

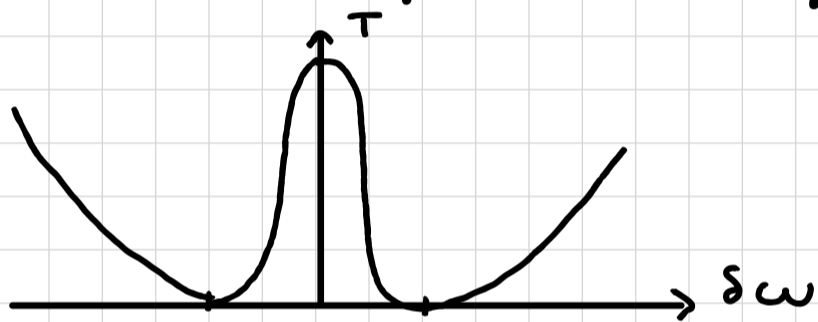
$$\Delta(\delta\omega) = \frac{1}{2} (\sqrt{\gamma_1^2 + 4\Omega_2^2} - \gamma_1)$$

x sachant que $\Omega_2 = 0,2 \gamma_1$, on obtient:

$$\begin{aligned} \Delta(\delta\omega) &= \frac{1}{2} \gamma_1 (\sqrt{1,16} - 1) \rightarrow \sqrt{1,16} = \sqrt{116} \times 10^{-1} \\ &= \frac{1}{2} \gamma_1 \times 0,11 \quad \sim \sqrt{121} \times 10^{-1} \\ &= \frac{6,3 \times 0,11}{2} \times 10^7 \text{ rad/s} \quad \sim 0,11 \\ &\simeq 3,2^2 \times 10^6 \text{ rad/s} \quad (1 \text{ pt}) \end{aligned}$$

(1pt)

x La figure 3a représente la transmission du nuage: on peut assimiler l'intervalle de pulsation pour lequel le gaz est transparent à l'intervalle de pulsation correspondant au pic central:



$$\Delta(\delta\omega) \sim 3 \times 10^6 \text{ rad/s} \quad (1 \text{ pt})$$

⇒ Les résultats sont cohérents (1pt)

x Evolution de la largeur $\Delta(\delta\omega)$

- $\Delta(\delta\omega)$ est fct croissante de Ω_2 et donc de Ω et de Γ (1pt)
- si $\gamma_1 \ll \Omega_2$ alors $\Delta(\delta\omega) = \frac{\Omega_2^2}{\gamma_1} = \frac{\Omega^4}{\gamma_1 \omega_1^2} \propto \Gamma^2$
- si $\Omega_2 \gg \gamma_1$ alors $\Delta(\delta\omega) = \Omega_2 = \Omega^2 / \omega_1 \propto \Gamma$

IV La lumière ralentie

Q26

pour $\omega = \omega_1$, $\underline{n} = 1$ et donc $\underline{k} = k = \frac{\omega}{c}$

$$\Rightarrow v_\phi = \frac{\omega}{k} = c \quad (1 \text{ pt})$$

Q27

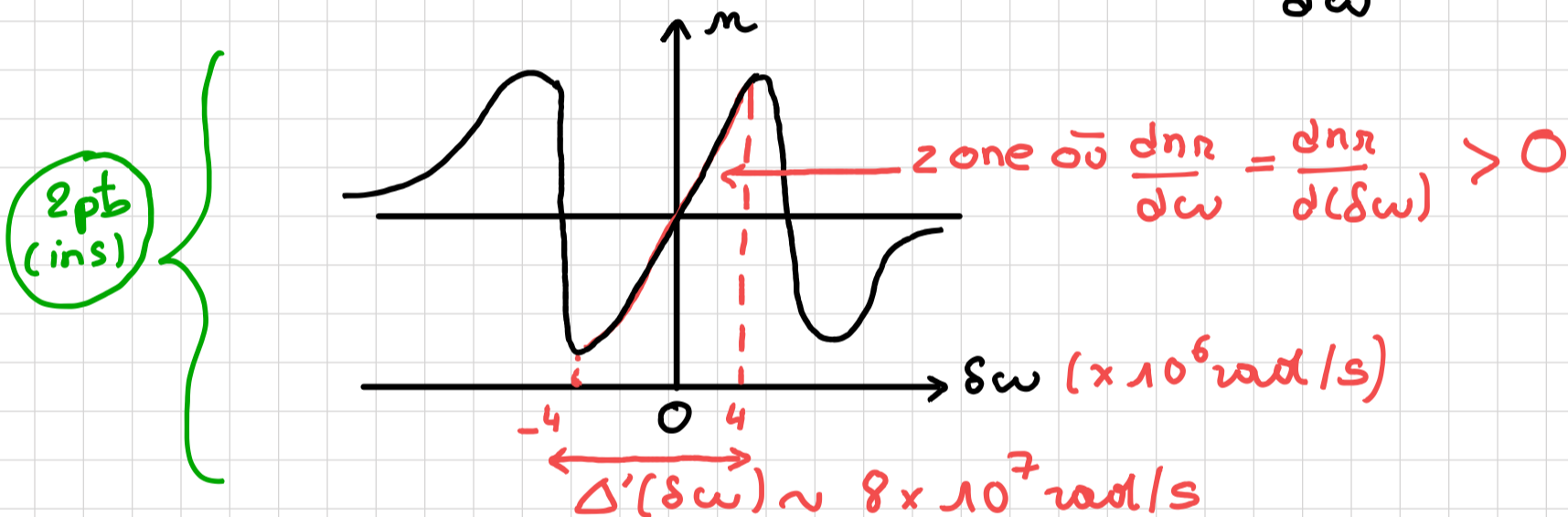
$$(1 \text{ pt}) \left\{ v_g = \frac{d\omega}{dk}, \text{ où } k' = \text{Re}(k) = \frac{\omega}{c} \text{Re}(n) = \frac{\omega}{c} n_r \quad (1 \text{ pt}) \right.$$

$$\text{D'où : } \frac{dk'}{d\omega} = \frac{n_r}{c} + \frac{\omega}{c} \frac{dn_r}{d\omega}$$

$$\Rightarrow v_g(\omega) = \frac{c}{n_r(\omega) + \omega n_r'(\omega)} \quad (1 \text{ pt})$$

Q28 x tout d'abord il faut noter que, d'après la figure 3b, sur l'intervalle des valeurs de $\delta\omega$ donné, l'indice $n_r(\omega)$ varie très peu.
 (1 pt) \Rightarrow c'est bien $n_r'(\omega)$ qui est responsable des variations de $v_g(\omega)$

x En partant de $n_r(\omega) = \text{cte}$, on constate que si $n_r' > 0$ alors $v_g(\omega) \downarrow$
 (1 pt) \Rightarrow le ralentissement a lieu quand $\frac{dn_r}{d\omega} > 0$



Q29 • On part de $\underline{n}(\omega) = 1 + \frac{c}{F} \underline{x}_1(\omega)$

$$\Rightarrow n_r(\omega) = 1 + \frac{c}{F} \text{Re}(\underline{x}_1) \quad (1 \text{ pt})$$

Q17 $\underline{x}_1 = \frac{F/m\omega_1}{\left(\frac{\Omega_n^2}{2\delta\omega} - 2\delta\omega\right) + j\gamma_1} \approx \frac{F/m\omega_1}{\frac{\Omega_n^2}{2\delta\omega}} \quad (1 \text{ pt})$

$$\Rightarrow \text{Re}(\underline{x}_1) = \frac{F}{m\omega_1} \times \frac{2\delta\omega}{\Omega_n^2}$$

$$\Rightarrow n_r(\omega) = 1 + \frac{c}{m\omega_1} \times \frac{2\delta\omega}{\Omega_n^2} = 1 + \frac{2c}{m\omega_1\Omega_n^2} (\omega - \omega_1) \quad (1 \text{ pt})$$

$$\Rightarrow \frac{dn_n}{d\omega} = \frac{2C}{m\omega_1\Omega_n^2} \quad (1 \text{ pt})$$

$$\bullet \quad v_g(\omega) = \frac{c}{n_n(\omega) + \omega n'_n(\omega)}$$

$$\Rightarrow v_g(\omega_1) = \frac{c}{1 + \frac{2C}{m\Omega_n^2}} \quad (1 \text{ pt})$$

Q30 D'après la courbe, le nuage d'atomes entraîne un retard d'environ $7 \mu\text{s}$ pour une longueur de $229 \mu\text{m}$ $\Rightarrow v_g = \frac{229}{7} \sim 3 \text{ m/s}$ (2 pts ins)

Q31 $v_g \ll c \Rightarrow \frac{2C}{m\Omega_n^2} \gg 1$

$$\Rightarrow v_g(\omega_1) = \frac{m\Omega_n^2}{2C} \times c \quad (1 \text{ pt})$$

$$\Rightarrow v_g \propto \Omega_n^2 \Rightarrow v_g \propto I^2 \quad (1 \text{ pt})$$

Q32 $\left\{ \begin{array}{l} \bullet I \uparrow \Rightarrow \Delta(\delta\omega) \uparrow \Rightarrow \text{Avantage} \quad (1 \text{ pt}) \\ \bullet I \uparrow \Rightarrow v_g(\omega_1) \downarrow \Rightarrow \text{inconvenient} \quad (1 \text{ pt}) \end{array} \right.$

