Bistabilité optique dans un interféromètre de FABRY-PÉROT en GaAs

Corrigé

Les matériaux semi conducteurs de la famille de l'Arséniure de Gallium possèdent des propriétés optiques originales qui les rendent très bien adaptés au traitement du signal optique. Ce problème envisage les aspects chimiques liés à l'obtention de ces matériaux et présente une de leurs applications dans le domaine optique.

A. Chimie : Obtention de couches de GaAs d'épaisseur contrôlée

Données :

Elément	**Ga**	**Al**	**As**	**In**	**P**
Numéro atomique Z	31	13	33	49	15
Rayon covalent (nm)	0,126	0,118	0,119	0,144	0,106
Masse molaire ($g.mol^{-1}$)	70	27	75	115	31

Grandeurs thermodynamiques standard à 298 K :

	$GaAs_{(s)}$	$Ga(CH_3)_{3(g)}$	$AsH_{3(g)}$	$CH_{4(g)}$
$\Delta_f H^0$ ($kJ.mol^{-1}$)	-89	-35	66	-75
S_m^0 ($J.K^{-1}.mol^{-1}$)	63	200	220	186

Constante des gaz parfaits: $R = 8,31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$.

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$.

1. Structures électroniques

a. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^1$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^1$

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$

Déterminer les configurations électroniques des atomes Ga, In, Al, As et P dans leur état fondamental.

b. ns^2np^1

ns^2np^3 Classer ces éléments en deux groupes selon la colonne de la classification périodique à laquelle ils appartiennent.

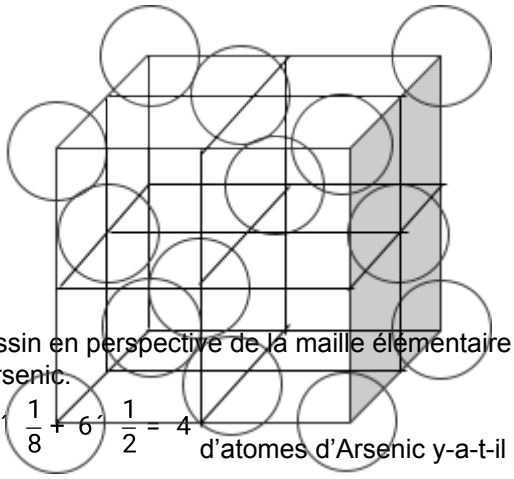
c. Pourquoi le Gallium et l'Arsenic s'associent-ils pour donner un corps de formule chimique $GaAs$ (Arséniure de Gallium) ?

d. Faire une liste de tous les composés analogues à $GaAs$ que l'on peut construire à partir de deux éléments pris dans le tableau donné au début de cette partie. Ces matériaux seront appelés « composés binaires III-V ».

2. Structure cristalline de $GaAs_{(s)}$

L'Arséniure de Gallium cristallise selon une structure de type blende de Zinc (ZnS) dans laquelle les atomes d'Arsenic (As) forment un réseau cubique à faces centrées, les atomes de Gallium (Ga) occupant certains sites tétraédriques.

a. Maille



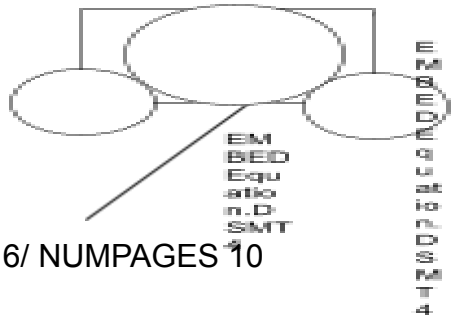
Faire un dessin en perspective de la maille élémentaire du réseau CFC en représentant les atomes d'Arsenic.

Combien $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$ d'atomes d'Arsenic y-a-t-il par maille .

b. Où sont situés les sites tétraédriques $\frac{a}{2}$? Combien la maille élémentaire en compte-t-elle ? Quelle est la proportion des sites tétraédriques occupés par les atomes de Gallium ?

c. $GaAs$ a^3 $r = 4 \times \left(\frac{M_{Ga} + M_{As}}{N_A}\right) \frac{1}{a^3}$ $r = 5{,}314 \times 10^3 \text{ kg.mol}^{-1}$ Déterminer numériquement la masse volumique ρ de $GaAs_{(s)}$, sachant que la longueur a d'un coté de la maille cubique élémentaire est $a = 0{,}566 \text{ nm}$.

d. $\frac{a}{2}$



$2(r_T + r_{As}) = \sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{2a^2}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}a$ $r_T = \frac{\sqrt{3}}{4}a - r_{As}$ Déterminer le rayon des sites tétraédriques r_T , en fonction de a et r_{As} , rayon covalent de l'Arsenic.

Calculer numériquement $r_T = 0{,}126\,\text{nm} = r_{Ga}$ r_T . Le comparer au rayon covalent du Gallium et conclure.

e. En admettant que les composés binaires III-V ont des structures cristallines analogues à celle de GaAs (la propriété constatée à la question précédente restant valable), déterminer numériquement le paramètre de maille a pour chacun d'entre eux. On présentera les résultats sous forme d'un tableau.

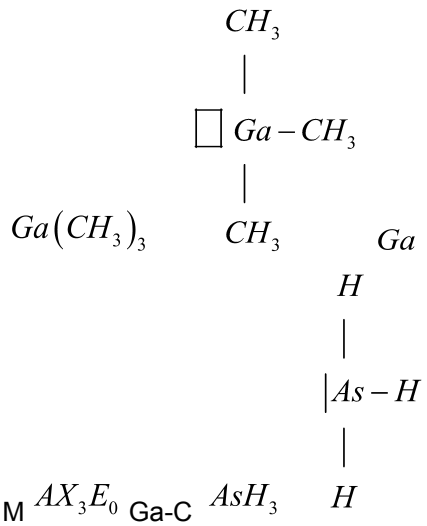
f. Expérimentalement, les mesures des paramètres de mailles a en nm pour les composés binaires III-V considérés ici donnent, *par ordre de masse molaire croissante :*

0,547	*0,546*	*0,567*	*0,566*	*0,577*	*0,607*

Comparer aux résultats du **e.** et commenter la validité du modèle utilisé.

3. Croissance de $GaAs_{(s)}$ par épitaxie en phase gazeuse- Aspect thermodynamique Une méthode permettant d'obtenir des couches de $GaAs_{(s)}$ d'épaisseur bien contrôlée est basée sur la réaction :

$$Ga(CH_3)_{3(g)} + AsH_{3(g)} \rightarrow GaAs_{(s)} + 3CH_{4(g)} \qquad (1)$$



M AX_3E_0 Ga-C AsH_3 H As Molécule AX_3 As est au centre d'un tétraèdre dont trois sommets sont occupés par les hydrogènes**a.** Donner la structure de Lewis des molécules de $Ga(CH_3)_3$ et AsH_3 .

Prévoir leur géométrie en utilisant la méthode $VSEPR$.

b. $\Delta_r S^0 = 201\,J.K^{-1}.mol^{-1}$

Calculer numériquement l'entropie et l'enthalpie molaires standard de la réaction (1) à 298K.

On négligera dans la suite les variations de ces grandeurs avec la température.

c. Préciser qualitativement l'influence de la température et de la pression sur l'avancement de la réaction (1).

d. $K^0 = \exp\left(-\frac{\Delta_r G^0}{RT}\right)$ $K = 3,507 \times 10^{34}$ $750\,\text{K}$ On se place à la température $T = 750\ \text{K}$. Calculer numériquement la constante d'équilibre de la réaction (1) et commenter.

4. Croissance de GaAs par épitaxie en phase gazeuse- Aspect cinétique

On s'intéresse dans cette question à un modèle cinétique simplifié de la réaction (1).

La disparition de $AsH_{3(g)}$ peut être représentée par la seule réaction (M0) :

$$AsH_{3(g)} \xrightarrow{k_d} As_{(g)} + \frac{3}{2}H_{2(g)} \qquad \text{(M0)}$$

La disparition de $Ga(CH_3)_{3(g)}$ peut être représentée par la seule réaction (M1) :

$$Ga(CH_3)_{3(g)} \xrightarrow{k_1} Ga(CH_3)_{(g)} + 2CH_{3(g)} \qquad \text{(M1)}$$

La formation de $GaAs_{(s)}$ peut être représentée par la seule réaction (M2) :

$$Ga(CH_3)_{(g)} + As_{(g)} \xrightarrow{k_2} GaAs_{(s)} + CH_{3(g)} \qquad \text{(M2)}$$

Ces trois réactions sont à considérer ensemble et seront traitées comme des processus élémentaires.

Les constantes k_d, k_1 et k_2 sont les constantes de vitesses de ces différentes réactions.

On réalise la réaction (1) dans une enceinte cylindrique de volume V et de section S (on posera $\alpha = \frac{S}{V} = 10^4\ \text{m}^{-1}$). Initialement, à $t = 0$, on place dans l'enceinte une concentration c_0 de AsH_3 et une concentration c_1 de $Ga(CH_3)_{3(g)}$.

a. $(M0)\ \frac{dc_A}{dt} = -k_d c_A$ $c_A(t) = c_0 \exp(-k_d t)$ Déterminer la concentration d'$AsH_{3(g)}$, $c_A(t)$, en fonction de c_0, k_d et t.

b. $k_d = A\exp(-E_a/RT)$ $k_d(750) = k_d(580)\exp\left(-\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{750} - \frac{1}{580}\right)\right)$ $k_d = 57,3\,\text{s}^{-1}$ La réaction (M0) a une énergie d'activation $E_a = 184\ \text{kJ.mol}^{-1}$ et la constante de vitesse vaut $k_d = 10^{-2}\ \text{s}^{-1}$ à $T = 580\ \text{K}$.

Calculer numériquement la constante de vitesse k_d à $750\ \text{K}$.

En déduire le temps nécessaire à la disparition de 99% de $AsH_{3(g)}$, à 750 K.

$t = \ln(100)\frac{1}{k_d} = 80,4\,ms$

c. $(M1)\ Ga(CH_3) - k_2 \left[Ga(CH_3)_{(g)}\right]\left[As_{(g)}\right]$ On opère en présence d'un fort excès de $A_sH_{3(g)}$ (i.e. $c_1 << c_0$) et on considère que la réaction (M0) est beaucoup plus rapide que les processus (M1) et (M2). M_0

$(M2)$

$\left[As_{(g)}\right] @ c_0 - k_2 c_0 \left[Ga(CH_3)_{(g)}\right]\ k'_2 = k_2 c_0$

Montrer que, dans ces conditions, la réaction (M2) peut être considéré comme une réaction du premier ordre dont on exprimera la constante de vitesse k'_2 en fonction de k_2 et c_0.

d. La concentration initiale en $Ga(CH_3)_{(g)}$ $\frac{dc_M}{dt} = -k'_2 c_M + k_1 c_T$ étant nulle, déterminer les concentrations en $Ga(CH_3)_{3(g)}$ $\frac{dc_T}{dt} = -k_1 c_T$ $c_T(t) = c_1 \exp(-k_1 t)$

$\frac{dc_M}{dt} = -k'_2 c_M + k_1 c_1 \exp(-k_1 t)$ $c_M(t) = f(t)\exp(-k'_2 t)$ $f'(t) = k_1 c_1 \exp(-(k_1 - k'_2)t)$

$f(t) = \frac{k_1 c_1}{k'_2 - k_1}\exp(-(k_1 - k'_2)t) + C$

$c_M(t) = C\exp(-k'_2 t) + \frac{k_1 c_1}{k'_2 - k_1}\exp(-k_1 t)$ $c_M(0) = 0$

$c_M(t) = \frac{k_1 c_1}{k'_2 - k_1}(-\exp(-k'_2 t) + \exp(-k_1 t))$ et $Ga(CH_3)_{(g)}$, notées respectivement $c_T(t)$ et $c_M(t)$, en fonction de t, k_1, k'_2, c_1.

e. On admet que le $GaAs_{(s)}$ solide est $Ga(CH_3)_{(g)}$

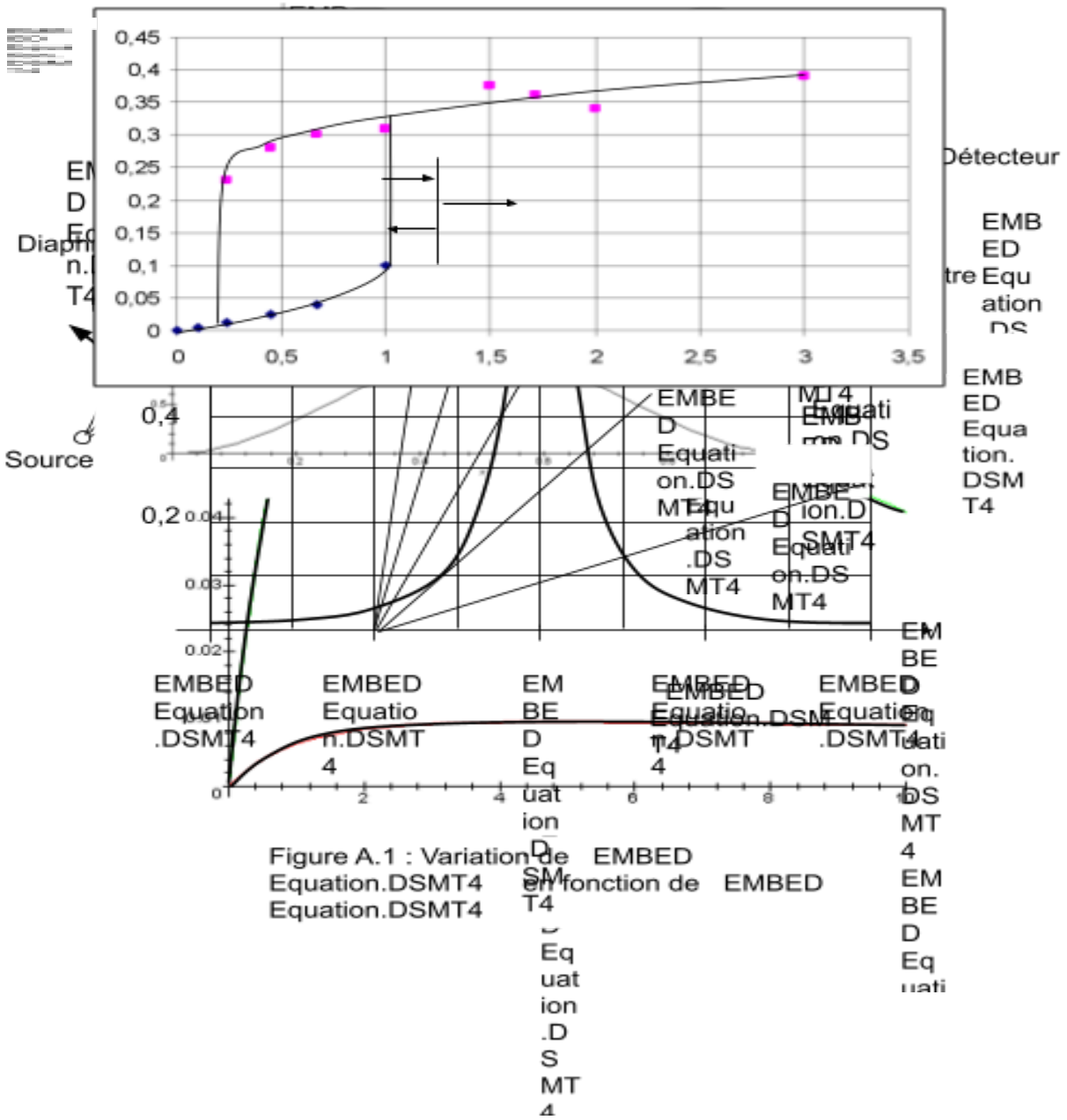


Figure A.1 : Variation de EMBED Equation.DSMT4 en fonction de EMBED Equation.DSMT4

dans la réaction M2, c'est à dire EMBED Equation.DSMT4 $-\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\,M2} \times V$. Le GaAs solide formé a un volume molaire EMBED Equation.DSMT4 $-\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\,M2} \times V$, donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\,M2} V$, soit EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\,M2} V$ seulement formé sur la base de l'enceinte, de section S. L'épaisseur de la couche de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\,M2} V$

supposée homogène) est notée EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$.

Exprimer EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ en fonction de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, du rapport EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, de la masse volumique EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ et de la masse molaire M de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ .f. Dans les conditions expérimentales choisies, on a EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ et EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ .L'instant EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ vérifie : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, soit EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, soit EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Numériquement, EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Déterminer, d'abord analytiquement en fonction de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ et EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, puis numériquement , l'instant EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ où le taux de croissance est maximal. Déterminer numériquement ce taux de croissance maximal Numériquement EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$: EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, soit EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. que l'on peut obtenir pour une

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

concentration initiale EMBED Equation.DSMT4 . La vitesse de croissance est très faible. L'intérêt est que l'on peut très bien contrôler l'épaisseur des couches ainsi déposées. Commenter le résultat. Quel intérêt présente un taux de croissance très faible ?

B. Physique : Bistabilité optique dans un interféromètre Fabry-Pérot I. Cavité résonante électromagnétique 1. Rappeler les équations de Maxwell dans le vide .Equations de Maxwell

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

dans le vide : EMBED Equation.DSMT4 ; EMBED

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

Equation.DSMT4 ; EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

; EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

L'équation de propagation : EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

est établie en cours commencer par prendre le rotationnel de l'équation de Maxwell Faraday,….). 2. Modes propres de la cavité2.a. En notation complexe EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

et EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

.

On en déduit : EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

, avec EMBED

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

Equation.DSMT4 . La forme générale des solutions de cette

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

équation est EMBED Equation.DSMT4 , EMBED

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

Equation.DSMT4 étant des constantes d'intégration. 2.b. Dans

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

les conducteurs parfaits EMBED Equation.DSMT4 . La continuité de la composante tangentielle implique, par exemple en 0 EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

. On a donc EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

et de même EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

.p=12.c. La condition EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

impose EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

. La condition EMBED Equation.DSMT4

$$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$$

impose EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ entier. On a donc bien EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. 2.d : Graphiquement :2.e. Dans la cavité EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Il s'agit d'une somme de deux termes correspondant a deux ondes progressives se propageant dans les sens des EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ décroissants premier terme) et croissants deuxième terme).Ces ondes sont polarisées rectilignement parallèlement à EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Interprétation physique : réflexion successive des ondes sur les deux plans conducteurs. II. Interféromètre de Fabry- Pérot en incidence normale1.Etude de l'éclairement transmis – cas particuliers a. En comptant le nombre de réflexions et de transmissions, on obtient : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$; EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$; EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ b. Par rapport à l'onde EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ en EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, l'onde EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ a parcouru le chemin optique supplémentaire : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ c. L'éclairement de l'onde transmise est maximal si toutes les ondes sont en phase, ce qui implique EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. L'amplitude en EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ est alors la somme des amplitudes de toutes les ondes ces dernières sont en phase) : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Mais EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$,

donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ et l'intensité transmise est EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ d. Les interférences sont destructives si deux ondes successives sont en oppositin de phase : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Dans ce cas, l'amplitude totale est : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ L'éclairement n'est pas nul, car deux ondes successives, en opposition de phase n'ont pas exactement la même amplitude et donc ne se compensent pas rigoureusement. e. On a simplement EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ Une valeur de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ très élevée augmente le contraste du phénomène d'interférences valeur maximale obtenue pour EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$). 2.Etude de l'éclairement transmis – cas générala. Le signal de l'onde EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ en EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ est relié au signal de l'onde 1 par EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. La somme des signaux est donc : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, c'est à dire EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, qui est bien , avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ et EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ b. La somme précédente est très simple progression géométrique) : EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Or EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ On retrouve bien les résultats du 1.c. cas EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$) et 1.d. cas EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$) c. Un montage simple possible est : Les détecteurs sont diaphragmés au maximum de façon à sélectionner une direction d'incidence

particulière de façon à ne sélectionner qu'une longueur d'onde) - Pour obtenir une onde plane : placer une source ponctuelle obtenue à l'aide d'une source d'un condenseur et d'un diaphragme) au foyer objet d'une lentille- le montage à réseau présenté ci-dessus permet d'obtenir , dans la direction d'observation, une longueur d'onde variable - les détecteurs sont placés au foyer de lentilles convergentes de façon à concentrer la puissance lumineuse sur leur surface sensible les diaphragmes permettent également ici de sélectionner une longueur d'onde particulière)- le signal incident est prélevé à l'aide de la lame semi réfléchissante 3. Signal optique dans la lame a. Les deux termes correspondent à des ondes progressives. Le terme en $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ est progressif dans le sens des $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ croissantsLe terme en $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ est progressif dans le sens des décroissants. Ces deux termes peuvent s'interpréter comme les superpositions des ondes successivement réfléchies sur chacune des interfaces. Noter que le rapport des amplitudes des deux termes progressifs en $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ est égal à $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, comme il se doit pour une réflexion sur cette interface sur cette interface, la situation est identique au cas d'une interface seule : ce qui n'est pas le cas en $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$.b. Pour $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, on a $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$.En négligeant le terme en $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ du numérateur, il vient $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, et donc $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$. Mais $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ à l'ordre de plus bas et $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, d'où $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ c. Pour $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, on a $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$. On retrouve les mêmes caractéristiques que pour le carré du champ électrique du mode d'ordre de la cavité entre conducteurs idéaux pour lesquels on aurait $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ exactement). d. Par définition :

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. On a donc , avec les notations de l'énoncé : EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ III. Cas d'un matériau non linéaire, bistabilité optique 1. Modification du déphasage dans la lamea. Le déphasage EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ est lié à la différence de marche introduite par un aller retour dans la lame, mais maintenant l'indice n'est plus uniforme : EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, soit EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. L'amplitude et l'intensité transmise ne dépend que de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, donc les résultats précédents pourront être utilisés en remplaçant EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ par EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$.

b. On remplace simplement EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$:

EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Donc EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, soit EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, avec EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ .2. Bistabilité En combinant les résultats du 1.f et ceux du 1.b partie II) ci-dessus, on s'aperçoit que EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ doit être solution de l'équation EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ 1)a. Pour EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$, les solutions sont simplement les points d'intersection de la courbe EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ et de la droite de pente EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ d'abscisse EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$ à l'origine. b. Lorsque EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ augmente, la pente des droites diminue. Les trois cas graphiques $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ représentés ci-dessous montrent :- si EMBED Equation.DSMT4 est faible : un seul point d'intersection- si EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$: deux points d'intersection, avec tangence pour l'un deux - si EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$: trois points d'intersection- si EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$: deux points d'intersection dont l'un avec tangence- si EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$: un seul point d'intersection. c. A partir de la courbe, on mesure EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ et EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$. Le rapport des intensités se réduit du rapport des pentes . On trouve EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$. d. Lorsque EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, on observe un saut brutal de coefficient de transmission, car le seul point possible est celui de phase située au delà de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$: l'intensité transmise augmente brutalement. Le même phénomène se produit en sens inverse lorsque EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ redevient égal à EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$: l'intensité transmise diminue brutalement. e. On lit quelques points et on obtient : Le système présente un hysteresis : dans la zone bistable l'état observé dépend de l'histoire du système. Application : mémoire optique, portes logiques,… Pouvez vous i? Questions supplémentairesf. La figure A.1 représente l'allure de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ pour deux valeurs différentes de EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$, EMBED Equation.DSMT4 $S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2}V$ étant fixé . Parmi les deux cas représentés, quelle est la situation qui permet le meilleur contrôle du taux de déposition de EMBED Equation.DSMT4

$S\frac{de}{dt} = -\frac{M}{r}\left(\frac{dc_M}{dt}\right)_{réaction\ M2} V$. Sur quels) paramètres) peut-on jouer pour se rapprocher des conditions optimales ?