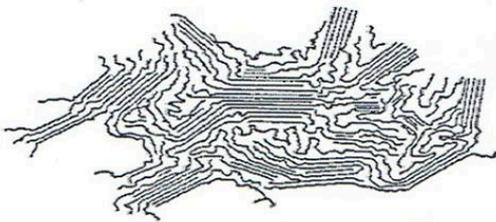
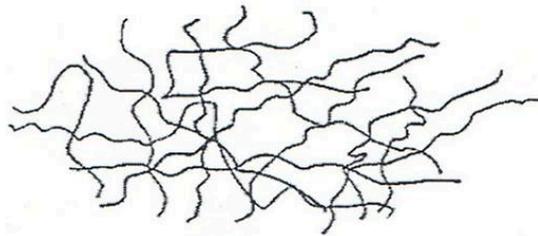


Partie 1

- 1- Un polymère est un matériau constitué de macromolécules organiques. De quels atomes peut être composée une molécule organique ?
- 2- Qu'est-ce que les PLASTIQUES ?
- 3- A quelle classe appartient chacun des polymères suivants : Le polystyrène, le polyéthylène, les polyépoxydes (Araldite) et le caoutchouc ?
- 4- Citer un exemple de polymère naturel.
- 5- Quelles sont les forces qui lient les chaînes de polymères entre elles ?
- 6- Dans l'écriture du polymère  $(-A-)_n$  que représente l'indice  $n$  ?
- 7- La largeur de la distribution des masses molaires dans un polymère peut être caractérisée par l'indice  $I$ . Que représente cet indice ?
- 8- Les polymères peuvent être classés selon leur importance économique, il existe une corrélation entre le tonnage et le prix. Ceci permet de distinguer trois grandes catégories de polymères commerciaux. Les Citer.
- 9- Que représentent les figures ci-dessous ?



(a)



(b)

- 10- En principe, tous les matériaux peuvent se présenter sous les trois états (solide, liquide et gaz), sauf les polymères. Expliquer pourquoi.
- 11- Définir la transition vitreuse dans un polymère.
- 12- Comment peut-on classer les polymères selon leur tacticité ?

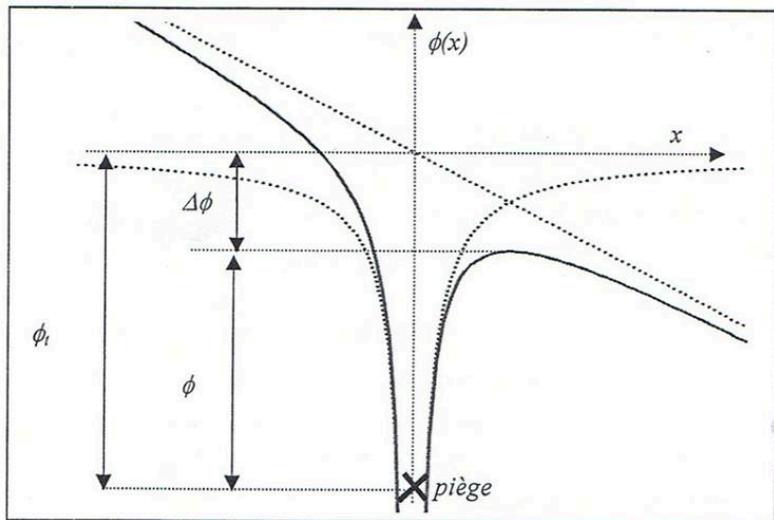
Partie 2

La figure ci-contre représente le puits de potentiel associé à un centre ionisé et montre que celui-ci est déformé sous l'effet du champ appliqué  $E$ . La profondeur du puits est diminuée de  $\Delta\phi$  dans le sens de  $E$  de sorte qu'il suffira de surmonter  $\phi = \phi_t - \Delta\phi$  au lieu de  $\phi_t$ .

A une distance  $x$  du centre, l'énergie potentielle est :

$$\phi(x) = -eE \cdot x - \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{e^2}{x}$$

1. Définir l'effet Poole-Frenkel.
2. Calculer  $\Delta\phi$  en fonction de  $\epsilon$  et  $E$



Le développement théorique dans le cas d'un matériau désordonné montre que la densité de courant s'écrit :

$$J_{PF} = J_o \exp\left(-\frac{\phi_t - \beta_{PF} \sqrt{E}}{kT}\right) \quad \text{où } \beta_{PF} \text{ est le coefficient de Poole-Frenkel.}$$

3. En déduire la valeur de  $\beta_{PF}$  en fonction de  $\epsilon$  et  $e$

Les mesures de densités de courant de conduction, dans un polymère à  $T = 100^\circ\text{C}$  et pour différentes valeurs du champ électrique, sont reportées dans le tableau suivant:

$E$ (MV/m)	48	64	96	128
$J$ (A/m <sup>2</sup> )	$3,42 \times 10^{-8}$	$9,06 \times 10^{-8}$	$4,36 \times 10^{-7}$	$1,91 \times 10^{-6}$

4. Quelle courbe ( $Y = f(X)$ ) faut-il tracer afin de vérifier ce mécanisme?
5. Compléter le tableau.
6. Tracer cette courbe sur papier millimétré.
7. En déduire la valeur de  $\beta_{PF}$ .
8. Calculer la valeur de permittivité relative  $\epsilon_r$  obtenue à partir de ces résultats.

On donne  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$

### Partie 3

On considère un diélectrique occupant un domaine ( $D$ ). En chaque point  $A$  du diélectrique, le vecteur polarisation est  $\vec{\rho}(A)$ . Il caractérise la distribution de dipôles dans le diélectrique.

- 1- Etablir l'expression du potentiel créé en un point  $M$  par la distribution de dipôles.
- 2- On peut montrer que ce potentiel peut se mettre sous la forme

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\sigma^*}{r} dS + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho^*}{r} dV$$

Expliciter les densités de charges fictives  $\sigma^*$  et  $\rho^*$ . Discuter du cas particulier d'une polarisation uniforme?

### Partie 4

Soit une sphère diélectrique linéaire homogène et isotrope plongée dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}_0$  dirigé suivant Oz.

- 1- En supposant la polarisation qui en résulte uniforme à l'intérieur de la sphère, calculer le champ dépolarisant en son centre. En déduire l'expression du champ macroscopique dans la sphère.
- 2- Calculer la polarisation à l'intérieur de la sphère en fonction du champ  $\vec{E}_0$  et de la permittivité relative  $\epsilon_r$ .
- 3- On peut montrer que cette sphère diélectrique placée dans  $\vec{E}_0$  est équivalente à un dipôle de moment  $\vec{p} = \vec{\rho} \cdot V$ , où  $V$  est le volume de la sphère.  
Représenter graphiquement la variation du champ électrique sur tout l'axe Oz.
- 4- Déterminer le champ électrique local à l'intérieur de la sphère diélectrique uniformément polarisée. Conclure.
- 5- *Application*: Soit une sphère taillée dans du soufre de permittivité relative  $\epsilon_r = 4$ . Cette sphère est placée dans un champ uniforme  $E_0 = 20 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

- a- Donner les valeurs du champ dépolarisant, de la polarisation et du champ macroscopique.
- b- Le soufre a une masse atomique  $M = 32 \text{ g}$ , son numéro atomique est 16, et sa masse volumique est  $\rho = 2,05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Quelle est sa concentration atomique en nombre d'atomes par  $\text{cm}^3$ . Calculer alors la distance séparant les centres de gravité des charges négatives et positives dans chaque atome.  
Conclusion.

On donne :  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  et  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$

### Exercice 3:

Un transistor JFET idéalisé est représenté sur la figure ci-dessus (**figure 1**). Les deux régions P<sup>+</sup> forment la grille et sont reliées électriquement au potentiel V<sub>G</sub>. Le canal est un parallélépipède de longueur L, de largeur Z et d'épaisseur 2a. Les jonctions sont abruptes.

On donne les valeurs numériques suivantes :

$N_A=10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ,  $N_D=10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ,  $n_i=10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ,  $a=2\mu\text{m}$ ,  $L=20\mu\text{m}$ ,  $Z=1\text{mm}$ ,  $T_0=300 \text{ K}$ ,  $e=1,6.10^{-19} \text{ C}$ ,  
 $\epsilon_s = 10^{-12} \text{ F/cm}$ ,  $k_B \cdot T_0=26\text{meV}$ ,  $\mu_n = 1200\text{cm}^2/\text{V.s}$ ,  $\mu_p = 300 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ .

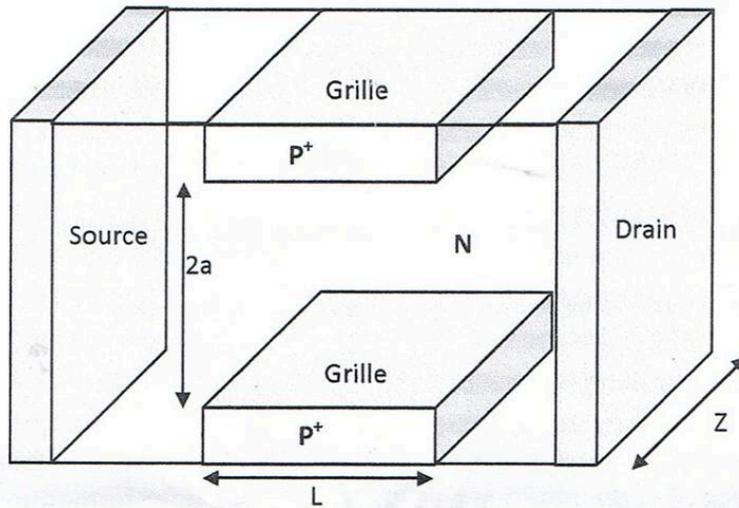


Figure 1

1. Comment doit être polarisée la jonction grille-canal dans un JFET à canal N ? Préciser le sens de circulation des électrons puis celui du courant dans la structure.
2. Calculer le potentiel de diffusion  $V_d$  de la jonction p-n du transistor JFET.
3. Expliquer pourquoi les régions de grilles sont très fortement dopées.
4. a- Calculer l'extension de la zone de charge d'espace  $W_0$ , à l'équilibre thermodynamique, de cette jonction. En déduire la hauteur du canal.  
b- Calculer la résistance du canal pour une tension grille-source nulle.
5. Quelle doit être la tension de la barrière pour que le canal soit fermé ? En déduire la tension nécessaire à appliquer sur la grille quand la source et le drain sont au potentiel zéro ( $V_{DS}=0$ ).
6. On applique une tension  $V_{DS}$  ( $V_D>0$ ) entre le drain et la source :
  - a. Exprimer l'épaisseur  $W$  de la ZCE de chaque jonction en l'absence de tension grille.
  - b- En déduire son expression lorsqu'on polarise négativement la grille avec une tension  $V_{GS}=V_G$  ( $V_S=0$ ).

مسابقة الدكتوراه في الفيزياء  
النظرية

امتحان نظرية الحقول

2013 - 2014 - بايدي مختار - ثانية  
المدّة ساعتان

مسألة 1

- 1) اكتب شرط استقرار الفراغ.
- 2) اكتب علاقات جال-مان لو.
- 3) اكتب عبارة مصفوفة التصادم.
- 4) اكتب علاقة ليمان-سيمانزويك-زيمرمان التي تعبر عن سعة احتمال الانتقال بين حالتين من الحالات ذات الجسيم الواحد بدلالة دالة غرين الثنائية.
- 5) اكتب علاقة ليمان-سيمانزويك-زيمرمان التي تعبر عن سعة احتمال الانتقال بين حالتين من الحالات ذات الجسيمين بدلالة دالة غرين الرباعية.
- 6) اكتب نظرية ويك. طبق من اجل حقلين، اربعة حقول و ستة حقول.

مسألة 2 نعتبر حقل سلمي حقيقي في اربعة ابعاد مينكوفسكية يتفاعل تكعيبيا حسب لاغرانجية التفاعل

$$\mathcal{L}_{int} = -\frac{\lambda}{3!} \phi^3.$$

- 1) احسب دالة غرين الصفرية حتي الرتبة الثانية من نظرية الاضطرابات و عبر عن النتيجة الاخيرة بدلالة مخططات فايمان.
- 2) احسب دالة غرين الاحادية حتي الرتبة الثانية من نظرية الاضطرابات و عبر عن النتيجة الاخيرة بدلالة مخططات فايمان.
- 3) احسب دالة غرين الثنائية حتي الرتبة الثانية من نظرية الاضطرابات و عبر عن النتيجة الاخيرة بدلالة مخططات فايمان.
- 4) استنتج دالة غرين الثنائية المرتبطة حتي الرتبة الثانية من نظرية الاضطرابات و عبر عنها بدلالة مخططات فايمان.

مسألة 3 نعتبر حقل سلمي حقيقي في اربعة ابعاد مينكوفسكية يتفاعل حسب لاغرانجية ال  $\phi^4$ :

$$\mathcal{L}_{int} = -\frac{\lambda}{4!} \phi^4.$$

احسب دالة غرين الرباعية حتي الرتبة الاولى من نظرية الاضطرابات و عبر عنها بدلالة مخططات فايمان.

## مسألة 4

(1) بين ان مصفوفات ديراك في بعدين يمكن ان تعطى ب

$$\gamma^0 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \gamma^1 = \begin{pmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{pmatrix}.$$

(2) اكتب الحل العام لمعادلة ديراك في بعدين من اجل كتلة منعدمة.

## Examen de Physique des Particules امتحان فيزياء الجسيمات

### Exercice 1

Un kaon  $K^+$  de masse  $M$ , au repos dans le système du laboratoire, se désintègre en muon  $\mu^+$  de masse  $m_1$  et neutrino  $\nu_\mu$  de masse  $m_2$ .

- (3 pts) Déterminer les énergies totales  $E_1$  et  $E_2$  des deux particules  $\mu^+$  et  $\nu_\mu$  en fonction de  $M$ ,  $m_1$  et  $m_2$ ?
- (3 pts) Déterminer les énergies cinétiques  $T_1$  et  $T_2$  en fonction de  $M$ ,  $m_1$  et  $m_2$ ?
- (3 pts) Déterminer les quantités de mouvement  $p_1$  et  $p_2$  en fonction de  $M$ ,  $m_1$  et  $m_2$ ?
- (3 pts) Calculer toutes les grandeurs des questions précédentes en négligeant la masse du neutrino.

### التمرين الأول

- كيون  $K^+$  ، كتلته  $M$  ، ساكن في نظام المختبر ، ينحل إلى ميون  $\mu^+$  كتلته  $m_1$  و نوترينو  $\nu_\mu$  كتلته  $m_2$  .
- (3 نقاط) عين الطاقتين الكليتين  $E_1$  و  $E_2$  للجسيمتين  $\mu^+$  و  $\nu_\mu$  بدلالة  $M$  و  $m_1$  و  $m_2$  .
  - (3 نقاط) عين الطاقتين الحركيتين  $T_1$  و  $T_2$  بدلالة  $M$  و  $m_1$  و  $m_2$  .
  - (3 نقاط) عين كميتي الحركة  $p_1$  و  $p_2$  بدلالة  $M$  و  $m_1$  و  $m_2$  .
  - (3 نقاط) احسب كل المقادير المطلوبة في الأسئلة السابقة بإهمال كتلة النوترينو .

### Exercice 2 (8 pts)

On considère les réactions suivantes:

- $\pi^- + p \rightarrow K^0 + \Sigma^0$
- $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + K^-$
- $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$
- $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$
- $p + \bar{p} \rightarrow \gamma$
- $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + \Sigma^0$
- $\Lambda^0 \rightarrow K^0 + \pi^0$
- $\tau^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\tau$

Quelles sont les réactions possibles et les réactions impossibles ? Si la réaction est possible, déterminer la nature de la force agissante. Si elle est impossible, déterminer la raison.

### التمرين الثاني (8 نقاط)

نعتبر التفاعلات التالية :

ما هي التفاعلات الممكنة و التفاعلات غير الممكنة ؟ إذا كان التفاعل ممكنا عين طبيعة القوة الفاعلة ، و إذا كان غير ممكن عين السبب .

### Meson Summary Table

	Mass $m$ (MeV/c <sup>2</sup> )	Mean Life $\tau$ (s)	Charge $Q$ (e)	Spin and Parity $J^P$	Isospin $I(I_3)$	Strangeness $S$
$\pi^+$	139.57	$2.60 \times 10^{-8}$	+1		1 (+1)	
$\pi^0$	134.98	$8.40 \times 10^{-17}$	0	$0^-$	1 (0)	0
$\pi^-$	139.57	$2.60 \times 10^{-8}$	-1		1 (-1)	
$K^+$	493.68	$1.24 \times 10^{-8}$	+1		1/2 (+1/2)	
$K^0$	497.61	$0.89 \times 10^{-10}$ $5.12 \times 10^{-8}$	0	$0^-$	1/2 (-1/2)	+1
$\bar{K}^0$	497.61	$0.89 \times 10^{-10}$ $5.12 \times 10^{-8}$	0	$0^-$	1/2 (+1/2)	-1
$K^-$	493.68	$1.24 \times 10^{-8}$	-1		1/2 (-1/2)	

### Baryon Summary Table

	Mass $m$ (MeV/c <sup>2</sup> )	Mean Life $\tau$ (s)	Charge $Q$ (e)	Spin and Parity $J^P$	Isospin $I(I_3)$	Baryon Number $B$	Strangeness $S$
<b>p</b>	938.27	-	+1		1/2 (+1/2)	+1	0
<b>n</b>	939.56	885.7	0	$1/2^+$	1/2 (-1/2)		
$\Lambda^0$	1115.68	$2.63 \times 10^{-10}$	0	$1/2^+$	0 (0)	+1	-1
$\Sigma^+$	1189.37	$0.80 \times 10^{-10}$	+1		1 (+1)		
$\Sigma^0$	1192.64	$7.40 \times 10^{-20}$	0	$1/2^+$	1 (0)	+1	-1
$\Sigma^-$	1197.45	$1.48 \times 10^{-10}$	-1		1 (-1)		
$\Xi^0$	1314.86	$2.90 \times 10^{-10}$	0	$1/2^+$	1/2 (+1/2)	+1	-2
$\Xi^-$	1321.71	$1.64 \times 10^{-10}$	-1		1/2 (-1/2)		
$\Omega^-$	1672.45	$0.82 \times 10^{-10}$	-1	$3/2^+$	0 (0)	+1	-3

### Lepton Summary Table

	Mass $m$ (MeV/c <sup>2</sup> )	Mean Life $\tau$ (s)	Charge $Q$ (e)	Spin $J$	Lepton Number		
					$L_e$	$L_\mu$	$L_\tau$
$e^-$	0.511	-	-1				
$\nu_e$	?	-	0	1/2	+1	0	0
$\mu^-$	105.66	$2.20 \times 10^{-6}$	-1				
$\nu_\mu$	?	-	0	1/2	0	+1	0
$\tau^-$	1776.82	$2.91 \times 10^{-13}$	-1				
$\nu_\tau$	?	-	0	1/2	0	0	+1

Université Constantine 1  
 Faculté des Sciences Exactes  
 Département de Physique

Concours d'accès en Doctorat de Physique Théorique  
 Epreuve de Théorie des Champs (Durée: Deux heures)  
 Année Universitaire 2012/2013  
 Samedi 19 octobre 2013

**Exercice 1**

On considère la théorie classique des champs définie par la densité Lagrangienne  $\mathcal{L}$

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2} \partial_\nu \varphi_1 \partial^\nu \varphi_1 + \frac{1}{2} \partial_\nu \varphi_2 \partial^\nu \varphi_2 - \frac{\mu}{2} (\varphi_1^2 + \varphi_2^2) - \frac{\lambda}{4} (\varphi_1^2 + \varphi_2^2)^2,$$

où  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  sont deux champs scalaires neutres,  $\mu$  est un paramètre réel et  $\lambda$  est un paramètre réel positif, avec

$$\partial_\nu := \frac{\partial}{\partial x^\nu}$$

- 1) Ecrire les équations d'Euler-Lagrange.
- 2) Calculer la densité Hamiltonienne  $\mathcal{H}$ .  
L'état fondamental est défini par le minimum de la densité Hamiltonienne  $\mathcal{H}$ .
- 3) Montrer que pour  $\mu > 0$ , il existe un seul état fondamental. Caractériser le, c'est à dire donner les valeurs de  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$  correspondantes  $\varphi_{10}$  et  $\varphi_{20}$ , respectivement.
- 4) Montrer que pour  $\mu < 0$ , il existe une infinité d'états fondamentaux. Caractériser les. Quel est le phénomène mis en jeu?

**Exercice 2**

On considère l'état de fermions de spin 1/2  $|\Psi\rangle_f$

$$|\Psi\rangle_f = |\Phi\rangle_f + |\Omega\rangle_f,$$

avec

$$|\Phi\rangle_f = \int \frac{d^3 k_1}{(2\pi)^3} \frac{d^3 k_2}{(2\pi)^3} \frac{d^3 k_3}{(2\pi)^3} \frac{m}{k_1^0} \frac{m}{k_2^0} \frac{m}{k_3^0} \sum_{\alpha_1, \alpha_2=1,2} h^{(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)}(k_1, k_2, k_3) b_{\alpha_3}^\dagger(k_3) b_{\alpha_2}^\dagger(k_2) b_{\alpha_1}^\dagger(k_1) |0, 0\rangle$$

et

$$|\Omega\rangle_f = \int \frac{d^3 k_1}{(2\pi)^3} \frac{d^3 k_2}{(2\pi)^3} \frac{d^3 k_3}{(2\pi)^3} \frac{m}{k_1^0} \frac{m}{k_2^0} \frac{m}{k_3^0} \sum_{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3=1,2} g^{(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3)}(k_1, k_2, k_3) d_{\alpha_3}^\dagger(k_3) d_{\alpha_2}^\dagger(k_2) d_{\alpha_1}^\dagger(k_1) |0, 0\rangle,$$

avec  $k^0 = \sqrt{\vec{k}^2 + m^2}$ , où les opérateurs de destruction et de création de fermions  $b_\alpha(k)$  et  $b_\alpha^\dagger(k)$  et les opérateurs de destruction et de création d'antifermions  $d_\alpha(k)$  et  $d_\alpha^\dagger(k)$  satisfont aux relations d'anticommutation

$$\{b_\alpha(k), b_{\alpha'}^\dagger(k')\} = (2\pi)^3 \frac{k^0}{m} \delta_{\alpha,\alpha'} \delta(\vec{k} - \vec{k}')$$

et

$$\{d_\alpha(k), d_{\alpha'}^\dagger(k')\} = (2\pi)^3 \frac{k^0}{m} \delta_{\alpha,\alpha'} \delta(\vec{k} - \vec{k}'),$$

et tous les autres anticommutateurs nuls.  $\alpha$  est un indice de spin.  $|0,0\rangle$  désigne le vide. On ne suppose aucune relation de symétrie particulière pour les fonctions poids  $h$  et  $g$ .

1)  $|\Psi\rangle_f$  est-il vecteur propre de l'opérateur nombre de particule  $N$ ?

$$N = \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \frac{m}{k^0} \sum_{\alpha=1,2} [b_\alpha^\dagger(k) b_\alpha(k) + d_\alpha^\dagger(k) d_\alpha(k)].$$

Si oui, donner la valeur propre correspondante.

2)  $|\Psi\rangle_f$  est-il vecteur propre de l'opérateur charge  $Q$ ?

$$Q = \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \frac{m}{k^0} \sum_{\alpha=1,2} [b_\alpha^\dagger(k) b_\alpha(k) - d_\alpha^\dagger(k) d_\alpha(k)].$$

Si oui, donner la valeur propre correspondante.

- 3) Calculer  ${}_f\langle\Phi|\Phi\rangle_f$ .
- 4) Calculer  ${}_f\langle\Omega|\Omega\rangle_f$ .
- 5) Calculer  ${}_f\langle\Phi|\Omega\rangle_f$  et  ${}_f\langle\Omega|\Phi\rangle_f$ .
- 6) Dédurre de 3), 4) et 5)  ${}_f\langle\Psi|\Psi\rangle_f$ .
- 7) Calculer la valeur moyenne de l'opérateur Hamiltonien  $H$

$$H = \int \frac{d^3k}{(2\pi)^3} \frac{m}{k^0} \sum_{\alpha=1,2} [b_\alpha^\dagger(k) b_\alpha(k) + d_\alpha^\dagger(k) d_\alpha(k)]$$

dans l'état  $|\Psi\rangle_f$ .

8) Que deviennent les résultats des questions 3), 4), 5), 6) et 7) dans les cas particuliers suivants:

- a-  $h$  et  $g$  complètement symétriques.
- b-  $h$  complètement symétrique et  $g$  complètement antisymétrique.
- c-  $h$  complètement antisymétrique et  $g$  complètement symétrique.
- d-  $h$  et  $g$  complètement antisymétriques.

**Epreuve de Mécanique quantique relativiste**  
**et**  
**Théorie des champs**  
 Durée: 1h30

**Partie A: Mécanique quantique relativiste (10pts)**

**Exercice 1- Equation de Klein Gordon(5pts)**

On considère une particule de masse  $m$  soumise au potentiel suivant:

$$V(x) = \begin{cases} = V_0 & \text{pour } x > 0 \\ = 0 & \text{pour } x < 0 \end{cases}$$

- a- déterminer l'équation de continuité et définir  $(\rho, \vec{j})$
- b- calculer les coefficients de reflexion et de transmission. Conclure.

**Exercice 2- Equation de Dirac(5pts)**

On considère une particule de masse  $m$  soumise à une interaction électromagnétique  $A^\mu = (A^0, \vec{A})$ .

- a- déterminer l'équation de continuité et définir  $(\rho, \vec{j})$
- b-étudier l'invariance par rapport aux
  - transformations de Lorentz
  - reflexion d'espace  $P$
  - conjugaison de charge  $C$
  - inversion du temps  $T$

**Partie B: Théorie des champs (10pts)**

**Exercice 3:(5pts)**

Soit  $\varphi$  un champ de Klein-Gordon et  $S = \int d^4x \mathcal{L}$  l'action où  $\mathcal{L} = \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 (\square + m^2) \varphi$  la densité lagrangienne.

- a- établir l'équation d'Euler-Lagrange
- b- calculer la densité hamiltonienne  $\mathcal{H}$  pour les deux cas
  - cas classique
  - cas quantique
- c- calculer le propagateur libre

**Exercice 4 (5pts)**

On perturbe le vide par une onde électromagnétique  $A^\mu = a^\mu e^{i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})}$  où  $\omega^2 = k^2$  pour créer une paire electron-positron: vide  $\rightarrow e^+ + e^-$ .

$S$  étant l'opérateur diffusion, Calculer les éléments de la matrices  $S_{fi}$

-à l'ordre 0

-à l'ordre 1

-à l'ordre 2

Conclure ?

Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle LMD  
Physique Mathématique, Subatomique et Information Quantique  
Epreuve 2:  
Relativités Restreinte et Générale

## I. Relativité Restreinte

A. On considère une source ponctuelle S émettant des flashes lumineux sphériques à une fréquence  $\nu_s$ , comme il est indiqué sur la figure 1, la source est animée d'une vitesse  $\vec{V}$  par rapport au référentiel du laboratoire. Un observateur immobile dans ce référentiel est placé au point O. On repère par le vecteur  $\vec{r}$  la position de la source qui a émis le signal reçu en O et on note  $\theta$  l'angle entre  $\vec{V}$  et l'axe de visée définie par le vecteur  $-\vec{r}$ .

a)- On veut étudier d'abord le problème classiquement, dans le référentiel du laboratoire.

1) Exprimez la durée  $\Delta t_0$  séparant la réception de 2 flashes pour l'observateur en fonction de  $\Delta t_s$ , période d'émission du signal dans le référentiel de l'observateur (on calculera à l'ordre le plus bas en  $\Delta t_s$ )

2) y a t il un effet Doppler classique transverse pour  $\theta = \frac{\pi}{2}$  ?

b)- On traite maintenant le phénomène en utilisant la relativité restreinte. Dans quel référentiel l'intervalle de temps séparant 2 flashes est un temps propre ? En déduire la fréquence  $\nu_0$  mesurée par l'observateur en fonction de  $\theta, V$  et de la fréquence  $\nu_s$  de la source.

B. On s'intéresse à l'aspect du ciel tel qu'il est perçu par un observateur, Ahmed. On appelle R un référentiel où les étoiles sont supposées fixes et  $\theta$  l'angle (dans R) entre une étoile lointaine et l'axe (Ox). Ahmed est situé sur l'axe (Ox) est animé d'une vitesse  $V$ .

1) Par une analyse classique, calculer l'angle  $\theta'$  sous lequel Ahmed voit une étoile d'angle  $\theta$  dans R.

2) De même, calculer l'angle  $\theta'$  sous lequel Ahmed voit cette étoile dans une analyse relativiste.

3) Calculer de même la fréquence  $\omega'$  qui serait détectée par Ahmed si l'étoile envoyait une fréquence unique  $\omega$ .

## II. Relativité Générale

a) Dans le cadre de la relativité générale pour une métrique linéarisée

$$g_{\mu\nu}(x) = \eta_{\mu\nu} + \varepsilon_{\mu\nu}(x)$$

(où  $\varepsilon_{\mu\nu}(x) \ll 1$  et  $\eta_{\mu\nu}$  est la métrique de Minkowski).

- 1) Calculez la métrique inverse  $g^{\mu\nu}(x)$ .
- 2) Calculez la forme générale des symboles de Christoffel.
- 3) Calculez la forme générale du tenseur de Ricci.
- 4) Si on suppose les conditions suivantes sur  $\varepsilon_{\mu\nu}(x)$

$$\partial_\rho \varepsilon^{\rho\alpha}(x) = \frac{1}{2} \eta^{\rho\alpha} \partial_\rho \varepsilon^\beta{}_\beta(x)$$

Montrez alors que les équations d'Einstein se ramènent à une équation d'onde pour  $\varepsilon_{\mu\nu}(x)$ .

b) Soit la métrique :

$$ds^2 = (c^2 - a^2 t) dt^2 - 2at dx dt - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

résoudre l'équation des géodésiques.

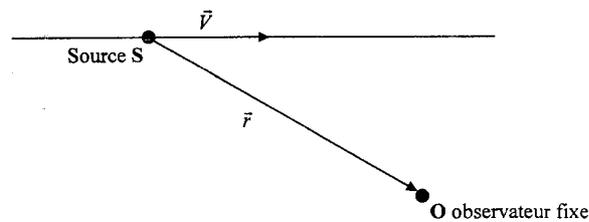


Figure 1.

Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle LMD  
Physique Mathématique, Subatomique et Information Quantique  
Epreuve 1:  
Mécanique Quantique

Exercice 1 : Atome d'hydrogène

Soit  $\psi_{nlm}(r, \theta, \phi) = R_{nl}(r)Y_l^m(\theta, \phi)$  la fonction d'onde de l'atome d'hydrogène. Pour l'état fondamental, sa partie radiale  $R_{nl}(r)$  prend la forme  $R_{nl}(r) = A \exp(-\beta r)$  où  $A$  et  $\beta$  sont 2 constantes réelles et  $\beta > 0$ .

- 1- Donner les valeurs de  $n$  et  $l$  et préciser sa partie angulaire, déterminer ensuite la relation qui relie  $A$  et  $\beta$  pour que la fonction d'onde soit normalisée.
- 2- Trouver les expressions de  $\beta$  (en fonction de  $a_0$ ) et celle de l'énergie de l'état fondamental.
- 3- Déterminer la valeur la plus probable de  $r$ .

On donne

$$\int_0^{\infty} r^2 \exp(-ar) dr = \frac{2}{a^3}; V(r) = -\frac{\alpha}{r} \text{ où } \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{\alpha m_e} \text{ (1<sup>er</sup> rayon de Bohr) ; } e : \text{ charge de l'électron, } m_e \text{ masse de l'électron}$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{L^2}{\hbar^2 r^2}, L : \text{ moment cinétique orbital de l'électron}$$

**Exercice 2 : Composition de 2 spin  $\frac{1}{2}$  et théorie de perturbation stationnaire**

Soit  $\vec{s}$  le moment cinétique de spin d'une particule de spin  $\frac{1}{2}$ . On notera  $\left\{ \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle, \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle \right\}$  la

base propre commune à  $s^2$  et  $s_z$ .  $s_x = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ .

1- Vérifier que  $s_x \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle = \frac{\hbar}{2} \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle$  et  $s_x \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle = \frac{\hbar}{2} \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle$ .

2- On notera  $\vec{s}_1$  et  $\vec{s}_2$  les observables spin de 2 particules de spin  $\frac{1}{2}$ .  $\vec{S} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$

l'observable spin total du système des 2 particules. On notera

$$\left| \frac{1}{2}, m_1 \right\rangle \otimes \left| \frac{1}{2}, m_2 \right\rangle \equiv \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, m_1, m_2 \right\rangle \equiv |m_1, m_2\rangle$$

les vecteurs propres communs à  $\{s_1^2, s_2^2, s_{1z}, s_{2z}\}$  et  $|SM\rangle$  ceux de  $S^2$  et  $S_z$ .

Donner les valeurs possibles de  $S$  et déterminer (pour chaque valeur de  $S$ ) les vecteurs  $|SM\rangle$  dans la base  $\{|m_1, m_2\rangle\}$ . On utilisera la convention  $\langle S, S | \frac{1}{2}, S - \frac{1}{2} \rangle \in \mathbb{R}^+$

3- Le Hamiltonien du système des deux particules s'écrit  $H_0 = \frac{\omega}{\hbar} (S_x^2 + S_y^2 - S_z^2)$ .

Déterminer les états stationnaires du système et leurs énergies correspondantes en précisant leurs degrés de dégénérescence.

4- Considérons alors la perturbation  $W = \lambda \hat{W}$  avec  $\hat{W} = \omega(s_{1x} - s_{2x})$  et  $\lambda \ll 1$ .

Calculer, au 1<sup>er</sup> ordre de perturbation, la correction à l'énergie de tous les niveaux d'énergie. Que peut-on en conclure.

B

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE	
FACULTE DE PHYSIQUE	
Concours d'accès au Doctorat 3 <sup>ème</sup> cycle 2012-2013	
Spécialité : Physique Théorique	
Epreuve : Mécanique Quantique Approfondie (2 heures)	



UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE



UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE

### Problème

Une particule de masse  $m$ , de moment angulaire  $l$  et de spin  $s = 1/2$  se meut dans un potentiel central  $V(r)$ .

- I. Indiquer les fonctions propres et les états propres de son hamiltonien  $H$ . Préciser les nombres quantiques dont dépend l'énergie ainsi que la dégénérescence correspondante.

Reprendre la même question dans le cas où la particule est soumise à une interaction supplémentaire du type  $W = c * \vec{l} \cdot \vec{s}$ ,  $c$  étant une constante.

- II. Dans le cas où le potentiel central est représenté par :

$$V(r) = \alpha \delta(r - a) \quad \alpha \text{ constante négative,}$$

écrire l'équation différentielle à laquelle obéit la fonction réduite  $U(r)$ , dans le cas des ondes « s ».

Résoudre l'équation précédente et discuter l'existence d'états liés.

- III. Le potentiel central s'écrit maintenant:

$$V(r) = -V_0 e^{-\frac{r}{a}} \quad \text{avec} \quad 3mV_0 a^2 = 4\hbar^2$$

Utiliser la méthode variationnelle avec une fonction d'essai  $\psi(\vec{r}) = C e^{-\alpha r}$  ( $\alpha$  étant le paramètre variationnel) pour déterminer l'énergie du fondamental. L'énergie obtenue représente-t-elle une borne supérieure ou une borne inférieure de l'énergie exacte? Justifier vos réponses.

#### Remarques:

- On montrera que l'on obtient l'équation suivante :  $(1 + 2x)^4 = 32x$  avec  $x = a\alpha$ .
- Une solution physique de cette équation est  $x_0 = 1/2$ .
- L'énergie exacte (calculée numériquement) est  $E_0 = -0.0324 V_0$ .

IV. On suppose que le mouvement de la particule a lieu dans le potentiel harmonique

$$V(r) = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 (x^2 + y^2 + z^2).$$

1. Donner les **états propres** de l'hamiltonien (en utilisant les coordonnées cartésiennes  $x, y, z$ ) ainsi que les **énergies propres associées**.

2. La particule est soumise à l'action d'une interaction supplémentaire  $k(x^2 + y^2)$  pouvant être traitée comme une perturbation.

Trouver, au 1<sup>er</sup> ordre de la théorie des perturbations, les énergies des deux 1<sup>ers</sup> niveaux (indiquer les états associés).

Comparer aux résultats obtenus dans le cas d'une résolution exacte.

### Exercice

En admettant qu'un nucléon appartenant à un noyau léger se déplace dans le potentiel

$$V(r) = -V_0 + \frac{1}{2} m \omega^2 r^2,$$

1. Déterminer le nombre de particules d'une seule espèce (neutrons ou protons) contenues dans une couche complète (une couche est déterminée par la totalité des états de même énergie).

2. Indiquer comment calculer (sans détailler les calculs) le rayon nucléaire de la couche fermée du noyau de  ${}^4_2\text{He}$ .

Remarque : Le rayon nucléaire  $R$  d'un noyau peut être défini comme la distance du centre de masse des nucléons au point où la densité nucléaire  $\rho(\vec{r}) = \sum_{\nu} \psi_{\nu}^*(\vec{r}) \psi_{\nu}(\vec{r})$  décroît

rapidement c.à.d  $\left. \frac{d^2 \rho}{dr^2} \right|_{r=R} = 0$  [la somme précédente porte sur tous les nucléons].

**Données :**

$$\int_0^{\infty} x^n \cdot e^{-px} \cdot dx = \frac{n!}{p^{n+1}} \quad n > 0, p > 0$$

$$x = \sqrt{\frac{\hbar}{2m\omega}} (a_x + a_x')$$

**Concours d'Accès en Doctorat de Physique Théorique**  
**Epreuve de Mécanique Quantique**

**Durée 2h**

**Exercice 1** On considère un système de deux particules ayant chacune un spin  $\frac{1}{2}$  représenté par les opérateurs  $\vec{S}_1$  et  $\vec{S}_2$ . On veut étudier l'effet des interactions magnétiques entre  $\vec{S}_1$  et  $\vec{S}_2$  sur le niveau fondamental  $1s$ . l'Hamiltonien hyperfin du système est

$$H_0 = A \vec{S}_1 \vec{S}_2,$$

où  $A$  est une constante qui dépend du système.

1. Montrer que les états propres de  $H_0$  sont des vecteurs propres communs à  $S_1^2, S_2^2, S^2$  et  $S_z$ , où  $\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$ .
2. Quelles sont les valeurs propres de  $H_0$  et quel est leur degré de dégénérescence?
3. On place le système des deux particules dans un champ magnétique statique  $\vec{B}_0 // Oz$  et on suppose que les deux moments magnétiques soient de valeurs différentes. Dans ce cas l'Hamiltonien s'écrit :

$$H = H_0 + \omega_1 S_{1z} + \omega_2 S_{2z},$$

où  $\omega_1 = -\gamma_1 B_0$  et  $\omega_2 = -\gamma_2 B_0$  avec  $\gamma_1$  et  $\gamma_2$  des rapports gyromagnétiques.

- a. Exprimer  $H$  en fonction des opérateurs  $S^2, S_z$  et  $(S_{1z} - S_{2z})$ .
- b. En déduire ses valeurs propres et ses états propres.
- c. On note par  $E_1$  et  $E_2$  les valeurs de l'énergie correspondant aux états  $|1, 1\rangle$  et  $|1, -1\rangle$  qui coïncident respectivement avec les états  $|+, +\rangle$  et  $|-, -\rangle$  et par  $E_3$  et  $E_4$  les deux autres valeurs, montrer que  $E_3$  et  $E_4$  correspondent respectivement, en champ faible aux états  $|1, 0\rangle$  et  $|0, 0\rangle$  et en champ fort ( $\hbar(\omega_1 - \omega_2) \gg A\hbar^2$ ), aux états  $|+, -\rangle$  et  $|-, +\rangle$ .

**Exercice 2**

La différence  $V$  entre l'Hamiltonien  $H$  et l'Hamiltonien  $H_0$  comporte deux termes dus à l'interaction spin-orbite et à la perturbation par un champ électrique. L'opérateur de perturbation est donné par la somme de ces deux termes,

$$V = A \vec{L} \vec{S} - \frac{1}{2} E^2 \left\{ a + 2b \left( L_z^2 - \frac{1}{3} L^2 \right) \right\}.$$

Dans la suite, on s'intéressera uniquement à l'étude de l'effet de cette perturbation sur un niveau doublet (spin  $s = \frac{1}{2}$ ).

1. En prenant  $H_0 = \omega J_z$ , montrer que le vecteur d'état propre de  $H_0$  associé à  $E_{M_J}^0$  est

$$|\Psi_{M_J}^0\rangle = \alpha_1 \left| L, M_J - \frac{1}{2} \right\rangle |+\rangle + \alpha_2 \left| L, M_J + \frac{1}{2} \right\rangle |-\rangle.$$

2. En omettant les termes constants, écrire l'opérateur de perturbation sous la forme:

$$V = \frac{A}{2} \left( L_- S_+ + L_+ S_- + 2L_z S_z - \frac{2bE^2}{A} L_z^2 \right).$$

- 
2. Calculer le déplacement des niveaux d'énergie.
  3. Que devient ce déplacement lorsque  $M_J = L + \frac{1}{2}$  ou  $M_J = -(L + \frac{1}{2})$ .
  4. Déterminer les états propres à l'ordre 0 adaptés à la perturbation.

**Exercice 1**

Considérons un plasma composé d'électrons ( $m_e, n_e, T_e$ ) et d'ions ( $m_i, n_i, T_i$ ) chargés positivement.

1. Etablir les expressions de la fréquence plasma électronique  $\omega_{pe}$  et de la fréquence plasma ionique  $\omega_{pi}$ .
2. Dans le cas où les ions sont considérés immobiles et les électrons Maxwelliens, établir l'expression de la longueur de Debye électronique  $\lambda_{De}$ .
3. Reprendre la question N°2 dans le cas où les électrons sont non extensifs, c'est à dire que leur densité est donnée par

$$n_e = n_{e0} \left[ 1 + (q-1) \frac{e\phi}{k_B T_e} \right]^{\frac{q+1}{2(q-1)}} \simeq n_{e0} \left[ 1 + \frac{(1+q)}{2} \frac{e\phi}{k_B T_e} + \dots \right] \quad (1)$$

où  $q$  est appelé paramètre non extensif.

4. Imaginons maintenant que l'on introduise une particule chargée  $q_T$  (charge test) dans un plasma initialement non perturbé, spatialement uniforme et globalement neutre. La position de  $q_T$  définit l'origine du système de coordonnées. Avant d'introduire la particule test, le potentiel plasma était nul partout car les densités électronique et ionique sont spatialement uniformes et égales. Cependant, l'introduction de  $q_T$  va perturber les électrons et les ions. Les particules ayant la même charge que  $q_T$  seront repoussées et les particules de charge opposée seront légèrement attirées. En supposant des électrons et des ions Maxwelliens, établir l'expression de la longueur de Debye effective  $\lambda_D$  caractérisant l'écrantage de la particule test.

**Exercice 2**

Considérons un plasma initialement neutre et de température  $T$ . Calculer le rayon  $r_{\max}$  de la plus grande sphère qui peut être spontanément vidée des électrons à cause de leur mouvement thermique.

**Exercice 3**

Dans un plasma, les particules chargées se déplacent de manière aléatoire du fait de leur énergie thermique. Une des conditions d'existence d'un plasma est que l'énergie d'agitation thermique des particules chargées (caractérisée ici par une température  $T_e = T_i = T$ ) soit plus grande que l'énergie d'attraction coulombienne moyenne [caractérisée par la distance moyenne entre ions ( $Z = 1$ ) et électrons] s'exerçant entre les ions et les électrons.

- a- Montrer que cette hypothèse conduit à la relation

$$n_e \lambda_D^3 \gg 1 \quad (2)$$

inégalité qui exprime la condition de neutralité du plasma ( $n_e$ : densité des électrons,  $\lambda_D$ : longueur de Debye). On rappelle que la distance moyenne  $d$  entre un électron et un ion peut se déduire de la relation triviale  $(\frac{4}{3}\pi d^3) n_e = 1$ .

Examen de physique du solide

Exercice 1 : Absorption des RX

Un faisceau de rayons X parallèles traverse un corps solide d'épaisseur  $x$  ; sachant que  $\mu$  est le coefficient d'absorption linéaire et  $\mu' = \mu/\rho$  le coefficient d'absorption massique ( $\rho$  étant la masse volumique du corps) :

- 1- Rappelez la loi de Lambert qui exprime  $I/I_0$  (le rapport de l'intensité incidente sur l'intensité transmise) de l'absorption des rayons X.
- 2- Calculez l'épaisseur pour laquelle le rapport des intensités  $\frac{I}{I_0} = 0,50$ , pour les métaux Al, Cu et Pb dont, respectivement, les coefficients  $\mu'$  valent 5,75 ; 48,5 et 135  $\text{cm}^2/\text{g}$  et les masses volumiques  $\rho = 2700, 8900$  et  $11600 \text{ kg/m}^3$ .

Exercice 2 : Rayons ioniques et stabilité des structures cristallines

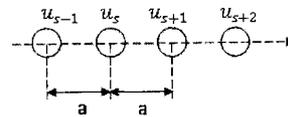
Dans les halogénures alcalins on peut assimiler les ions à des sphères dures du rayon  $r_+$  (cation) et  $r_-$  (anion).

- 1- Quelle inégalité doit satisfaire le rapport  $\frac{r_-}{r_+}$  pour que, dans le réseau cubique simple, les ions  $+$  et  $-$  se touchent le long de la diagonale sans que les plus gros des ions de même signe aux sommets du cube ne se recouvrent partiellement. Quel est alors le taux de remplissage optimal « t » ?
- 2- Quelle inégalité doit satisfaire le rapport  $\frac{r_-}{r_+}$  pour que dans le réseau cubique à faces centrées les ions de signes opposés disposés le long des rangées [100] se touchent sans que les plus gros des ions de même signe disposés le long des rangées [110] ne se recouvrent partiellement. Quel est alors le taux de remplissage optimal ?
- 3- CsCl est susceptible de cristalliser soit avec le réseau cubique simple, soit avec le réseau cubique à faces centrées; évaluer dans ces deux cas la distance  $r_0$  entre plus proches voisins de signes opposés et le paramètre « a » du cube, ainsi que les taux de remplissages correspondants.

On donne  $r_+(Cs^+) = 1,67 \text{ \AA}$ ,  $r_-(Cl^-) = 1,81 \text{ \AA}$ .

Exercice 3 : Vibrations du réseau cristallin

Considérons une onde se propageant dans un cristal, suivant une rangée d'atomes identiques de masse M et espacés uniformément d'une distance a. cette rangée d'atomes vibre en phase.



La force résultante  $F_s$  sur un plan  $s$  causée par les autres plans peut être formulée comme suit :

$$F_s = \sum_p C_p [U_{s+p} - U_s]$$

$C_p$  = constante de Rappel :

- 1- Ecrivez l'équation fondamentale de la dynamique sur un plan  $s$
- 2- En posant  $u_s = u_0 \exp -j(\omega t + kas)$ .  
Montrez que la fréquence de vibration  $\omega$  peut se mettre sous la forme :

$$\omega^2 = \frac{2}{M} \sum_{p>0} C_p (1 - \cos pka).$$

- 3- Tracer la courbe de dispersion  $\omega(k)$  pour les plus proches voisins.

---

Université Saad Dahlab de Blida  
Faculté des sciences  
Département de Physique  
Concours de Doctorat LMD Physique Fondamentale et Appliquée

Blida, le 03/10/2013

**Epreuve : Interaction Matière-Rayonnement**  
**Durée : 1h :30**

**1- Notions de la radioactivité**

- a- Définir la radioactivité  $\beta$ ,
- b- Définir l'activité d'un noyau radioactif,
- c- Donner deux (02) unités de l'activité.

**2- Interactions rayonnement-matière**

- a- Citer les types d'interactions rayonnement-matière,
- b- Définir la nature et les Conséquences de l'interaction rayonnement électromagnétique – matière,
- c- Donner le principe du Tube à rayon X (type Coolidge).

**3- Les étapes d'un travail de recherche**

- a- Citer les étapes d'un travail de recherche,
  - b- Donner un plan de rédaction pour un travail de recherche en physique expérimentale.
-

A

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE



FACULTE DE PHYSIQUE  
Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle 2012-2013



Spécialité : Physique Théorique

Épreuve : Analyse Numérique (2heures)

**Exercice 1: (06 points)**

Soit le système linéaire suivant :

$$\begin{cases} 2x + y = 3 \\ x + 3y = 4 \end{cases}$$

1. Etablir l'algorithme de la méthode du gradient à pas optimal.
2. Déterminer les deux premières itérations de la méthode. On prendra le vecteur de départ  $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ .

**Exercice 2: (07 points)**

Soit le système non linéaire suivant :

$$\begin{cases} x = \frac{(1 - yz - z)}{6} \\ y = \frac{2 - xy + z}{7} \\ z = \frac{(-3 + x + y^2)}{9} \end{cases}$$

1. Etudier la convergence de la méthode des approximations successives, sachant que  $|x|, |y|, |z| < 1$
2. Résoudre avec une précision de  $10^{-2}$  le système. On donne le vecteur de départ  $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

**Exercice 3: (07 points)**

Soit la matrice A définie par :

$$A = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 \\ -2 & 0 & -1 \\ 4 & 4 & 5 \end{pmatrix}$$

- 1) Déterminer le polynôme caractéristique de la matrice A par la méthode des rayons, On donne le vecteur de départ  $\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
- 2) Déterminer les valeurs propres et les vecteurs propres de la matrice A ?

Annaba University  
Ph.D. Entrance Exam 2013  
Mathematics For Physics I

**Problem 1**

Solve the following Green's

$$(\nabla^2 - k^2)G(\vec{r}) = \delta^{(3)}(\vec{r}).$$

**Problem 2**

1- Compute  $P_\ell(0)$  and  $P_\ell(1)$ , where  $P_\ell(x)$  is Legendre Polynomial.  
Deduce the integral

$$\int_0^1 P_\ell(x) dx$$

We give the generating function for Legendre polynomial

$$\sum_{\ell=0}^{\infty} t^\ell P_\ell(z) = (1 - 2tz + t^2)^{-\frac{1}{2}},$$

the Taylor expansion

$$(1 + t^2)^{-\frac{1}{2}} = \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \frac{(2k-1)!!}{(2k)!!} t^{2k},$$

and the recurrence formula

$$(2\ell + 1)P_\ell(x) = P'_{\ell+1}(x) - P'_{\ell-1}(x).$$

2-Solve Laplace's equation

$$\Delta\psi(r, \theta) = 0,$$

for  $r \leq a$ . The function  $\psi(r, \theta)$  is finite at the origin and it is subject to the following boundary conditions

$$\psi(r, \theta) = \begin{cases} V & 0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \\ -V & \frac{\pi}{2} < \theta \leq \pi \end{cases}$$

Recall that the general solution is of the form

$$\psi(r, \theta) = \sum_{\ell=0}^{\infty} (c_\ell r^\ell + d_\ell r^{-\ell-1}) P_\ell(\cos \theta).$$

Faculté de Physique (USTHB)  
Département de Physique Théorique

**Concours de Doctorat de Physique/ Physique Théorique**  
**Epreuve Ecrite de Mécanique Quantique Approfondie**  
23 Octobre 2013

**Exercice I**

Une particule de masse  $m$ , de moment angulaire  $l$  et de spin  $s = 1/2$ , se meut dans un potentiel d'oscillateur harmonique  $V_0(r) = \frac{1}{2} m \omega^2 r^2$ .

**I. On prendra dans toute la suite  $\hbar = 1$ .**

1. Donner les vecteurs propres ainsi que les énergies propres de l'hamiltonien  $H_0$  de la particule; indiquer les nombres quantiques dont dépendent les énergies ainsi que les dégénérescences éventuelles.

2. Cette particule est soumise à une interaction de spin-orbite  $H_1 = a \vec{l} \cdot \vec{s}$  où  $a$  est une constante.

L'hamiltonien du système s'écrit alors:  $H' = H_0 + H_1$ .

Déterminer les quatre premières énergies propres de  $H'$  ainsi que les kets propres associés si l'on suppose que  $l = 1$  et  $a = \omega$ ? Donner les énergies associées ainsi que les dégénérescences éventuelles correspondantes.

3. On applique un champ magnétique constant  $\vec{B}$  suivant  $Oz$  ( $\vec{B} = B_0 \vec{k}$ ).

L'hamiltonien total devient:  $H'' = H' + H_2 = H_0 + H_1 - \mu (\vec{l} + 2\vec{s}) \cdot \vec{B}$  ( $\mu$  est une constante).

En considérant  $H_2$  comme une perturbation, montrer que la correction de l'énergie, au premier ordre des perturbations, est donnée par:  $\Delta E^{(1)} = -\mu g_l M B_0$  où  $M$  est la valeur propre de  $J_z$ . Expliciter le facteur de Landé  $g_l$ .

**Données**

$$\langle l, m_l, \frac{1}{2}, \frac{1}{2} | J = l \pm \frac{1}{2}, M \rangle = \pm \left[ \frac{l \pm M + \frac{1}{2}}{2l+1} \right]^{1/2}$$

$$\langle l, m_l, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} | J = l \pm \frac{1}{2}, M \rangle = \left[ \frac{l \mp M + \frac{1}{2}}{2l+1} \right]^{1/2}$$

### Exercice II

Dans la base  $\{|11\rangle, |10\rangle, |1-1\rangle\}$ , la matrice de rotation  $R^1(\alpha, \beta, \gamma)$  s'écrit:

$$\begin{bmatrix} a & -\frac{\sqrt{2}}{2} \sin(\beta) e^{-i\alpha} & \sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) e^{-i(\alpha-\gamma)} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \sin(\beta) e^{-i\gamma} & \cos \beta & d \\ b & c & \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) e^{i(\alpha+\gamma)} \end{bmatrix}$$

1. Calculer les éléments de matrice manquants.
2. Déterminer le transformé  $|10\rangle$  par rotation  $R^1(\alpha, \beta, \gamma)$  du vecteur de base  $|10\rangle$ .
3. Que devient l'observable  $J_z$  dans la rotation  $R^1(\alpha, 0, \gamma)$ ?

**Donnée :**

$$R_{MM'}^J(\alpha, \beta, \gamma) = (-1)^{M'-M} (R_{M-M'}^J(\alpha, \beta, \gamma))^*$$

### Exercice III

$\tilde{a}_k^+$  et  $\tilde{a}_k$  sont des opérateurs de création et d'annihilation qui anticommulent. On définit de nouveaux opérateurs par :

$$a_k = \mu_k \tilde{a}_k + s_k v_k \tilde{a}_{-k}^+ \quad \text{et} \quad a_k^+ = \mu_k \tilde{a}_k^+ + s_k v_k \tilde{a}_{-k} \quad s_k, \mu_k \text{ et } v_k \text{ sont réels avec :}$$

$$\mu_k^2 + v_k^2 = 1, \quad \mu_{-k} = \mu_k, \quad v_{-k} = v_k, \quad s_{-k} = -s_k, \quad s_k^2 = 1$$

1. Déterminer les relations de commutation des nouveaux opérateurs.
2. Montrer que la transformation inverse donne :  $\tilde{a}_k = \mu_k a_k - s_k v_k a_{-k}^+$ .
3. On définit le vide  $|0\rangle$  tel que :  $a_k |0\rangle = 0 \quad \forall k$ .

a. Montrer, que sur  $|0\rangle$ , on a  $\overline{\tilde{a}_k^+ \tilde{a}_l} = v_k^2 \delta_{kl}$  et  $\overline{\tilde{a}_k \tilde{a}_l} = -\mu_k v_l s_l \delta_{k-l}$

b. Calculer  $\overline{\tilde{a}_k^+ \tilde{a}_l^+}$ .

4. Soit  $\tilde{H}$  l'hamiltonien d'un système de particules :

$$\tilde{H} = \sum_{k>0} e_k (\tilde{a}_k^+ \tilde{a}_k + \tilde{a}_{-k}^+ \tilde{a}_{-k}) - G \sum_{m,n>0} s_m s_n \tilde{a}_m^+ \tilde{a}_{-m}^+ \tilde{a}_{-n} \tilde{a}_n$$

On définit  $\tilde{H}' = \tilde{H} - \lambda \tilde{N}$  avec  $\tilde{N} = \sum_k \tilde{a}_k^+ \tilde{a}_k$  ;

$\tilde{H}'$  se met sous la forme  $\tilde{H}' = E_0 + \tilde{H}''$  où  $E_0$  est le terme sans opérateur de  $\tilde{H}'$ .  
Que représente  $E_0$  ? Qu'obtient-on pour la valeur moyenne de  $\tilde{H}'$  dans  $|0\rangle$  ?

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم : ( دعوة المسلم لأخيه بظهر الغيب مستجابة عند رأسه ملك مؤكل كلما دعا لأخيه بخير قال الملك المؤكل به : آمين ولك بمثل).

Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle LMD  
Physique Mathématique, Subatomique et Information Quantique  
Epreuve 1:  
Mécanique Quantique

Exercice 1 : Atome d'hydrogène

Soit  $\psi_{100}(r, \theta, \phi) = R_{10}(r)Y_0^0(\theta, \phi)$  la fonction d'onde de l'atome d'hydrogène. Pour l'état fondamental, sa partie radiale  $R_{10}(r)$  prend la forme  $R_{10}(r) = A \exp(-\beta r)$  où  $A$  et  $\beta$  sont 2 constantes réelles et  $\beta > 0$ .

- 1- Donner les valeurs de  $n$  et  $l$  et préciser sa partie angulaire, déterminer ensuite la relation qui relie  $A$  et  $\beta$  pour que la fonction d'onde soit normalisée.
- 2- Trouver les expressions de  $\beta$  (en fonction de  $a_0$ ) et celle de l'énergie  $E$  de l'état fondamental.
- 3- Déterminer la valeur la plus probable de  $r$ .

On donne

$$\int_0^{\infty} r^2 \exp(-ar) dr = \frac{2}{a^3}; V(r) = -\frac{\alpha}{r} \text{ où } \alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}$$

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{\alpha m_e} \text{ (1<sup>er</sup> rayon de Bohr) ; } e : \text{ charge de l'électron, } m_e \text{ masse de l'électron}$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} - \frac{L^2}{\hbar^2 r^2}, L : \text{ moment cinétique orbital de l'électron}$$

## II. Relativité Générale

a) Dans le cadre de la relativité générale pour une métrique linéarisée

$$g_{\mu\nu}(x) = \eta_{\mu\nu} + \varepsilon_{\mu\nu}(x)$$

(où  $\varepsilon_{\mu\nu}(x) \ll 1$  et  $\eta_{\mu\nu}$  est la métrique de Minkowski).

- 1) Calculez la métrique inverse  $g^{\mu\nu}(x)$ .
- 2) Calculez la forme générale des symboles de Christoffel.
- 3) Calculez la forme générale du tenseur de Ricci.
- 4) Si on suppose les conditions suivantes sur  $\varepsilon_{\mu\nu}(x)$

$$\partial_\rho \varepsilon^{\mu\nu}(x) = \frac{1}{2} \eta^{\mu\nu} \partial_\rho \varepsilon^\sigma{}_\sigma(x)$$

Montrez alors que les équations d'Einstein se ramènent à une équation d'onde pour  $\varepsilon_{\mu\nu}(x)$ .

b) Soit la métrique :

$$ds^2 = (c^2 - a^2 t) dt^2 - 2at dx dt - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

résoudre l'équation des géodésiques.

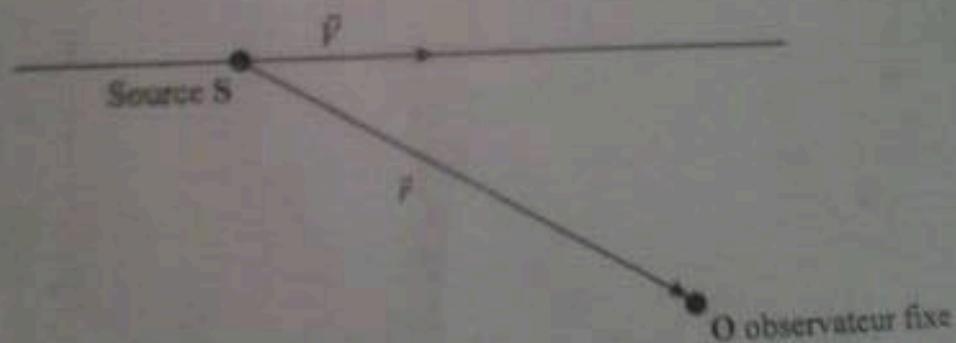


Figure 1.

Epreuve de Mécanique quantique relativiste  
 et  
 Théorie des champs  
 Durée: 1h30

Partie A: Mécanique quantique relativiste (10pts)

Exercice 1- Equation de Klein Gordon (5pts)

On considère une particule de masse  $m$  soumise au potentiel suivant:

$$V(x) = \begin{cases} = V_0 & \text{pour } x > 0 \\ = 0 & \text{pour } x < 0 \end{cases}$$

- déterminer l'équation de continuité et définir  $(\rho, \vec{j})$
- calculer les coefficients de réflexion et de transmission. Conclure.

Exercice 2- Equation de Dirac (5pts)

On considère une particule de masse  $m$  soumise à une interaction électromagnétique  $A^\mu = (A^0, \vec{A})$ .

- déterminer l'équation de continuité et définir  $(\rho, \vec{j})$
- étudier l'invariance par rapport aux
  - transformations de Lorentz
  - réflexion d'espace  $P$
  - conjugaison de charge  $C$
  - inversion du temps  $T$

Partie B: Théorie des champs (10pts)

Exercice 3: (5pts)

Soit  $\varphi$  un champ de Klein-Gordon et  $S = \int d^4x \mathcal{L}$  l'action où  $\mathcal{L} = \frac{1}{2} \varphi (\square + m^2) \varphi$  la densité lagrangienne.

- établir l'équation d'Euler-Lagrange
- calculer la densité hamiltonienne  $\mathcal{H}$  pour les deux cas
  - cas classique
  - cas quantique
- calculer le propagateur libre

Exercice 4 (5pts)

On perturbe le vide par une onde électromagnétique  $A^\mu = a^\mu e^{i(-\omega t + \vec{k} \cdot \vec{z})}$  où  $\omega^2 = k^2$  pour créer une paire électron-positron, vide  $\rightarrow e^+ + e^-$ .  $S$  étant l'opérateur diffusion, Calculer les éléments de la matrices  $S_f$ .

- à l'ordre 0
  - à l'ordre 1
  - à l'ordre 2
- Conclure ?

**Exercice 2 : Composition de 2 spin  $\frac{1}{2}$  et théorie de perturbation stationnaire**

Soit  $\vec{S}$  le moment cinétique de spin d'une particule de spin  $\frac{1}{2}$ . On notera  $\left\{ \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \end{pmatrix} \right\}$  la

base propre commune à  $S^2$  et  $S_z$ ,  $S_z = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ .

1- Vérifier que  $S_x \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \end{pmatrix}$  et  $S_x \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \end{pmatrix} = \frac{\hbar}{2} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix}$ .

2- On notera  $\vec{S}_1$  et  $\vec{S}_2$  les observables spin de 2 particules de spin  $\frac{1}{2}$ .  $\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2$

l'observable spin total du système des 2 particules. On notera

$\left| \frac{1}{2}, m_1 \right\rangle \otimes \left| \frac{1}{2}, m_2 \right\rangle = \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2}, m_1, m_2 \right\rangle = |m_1, m_2\rangle$  les vecteurs propres communs à

$\{S_1^2, S_2^2, S_{1z}, S_{2z}\}$  et  $|SM\rangle$  ceux de  $S^2$  et  $S_z$ .

Donner les valeurs possibles de  $S$  et déterminer (pour chaque valeur de  $S$ ) les

vecteurs  $|SM\rangle$  dans la base  $\{|m_1, m_2\rangle\}$ . On utilisera la convention  $(S, S_z = \frac{1}{2}, S = -\frac{1}{2}) \in \mathbb{R}^+$

3- Le Hamiltonien du système des deux particules s'écrit  $H_0 = \frac{a\hbar}{2} (S_1^2 + S_2^2 - S^2)$ .

Déterminer les états stationnaires du système et leurs énergies correspondantes en précisant leurs degrés de dégénérescence.

4- Considérons alors la perturbation  $W = \lambda W^1$  avec  $W^1 = a(x_{1z} - x_{2z})$  et  $\lambda \ll 1$ .

Calculer, au 1<sup>er</sup> ordre de perturbation, la correction à l'énergie de tous les niveaux d'énergie. Que peut-on en conclure.

Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> Cycle LMD  
Physique Mathématique, Subatomique et Information Quantique  
Epreuve 2:  
Relativités Restreinte et Générale

## I. Relativité Restreinte

A. On considère une source ponctuelle  $S$  émettant des flashes lumineux sphériques à une fréquence  $\nu'$ , comme il est indiqué sur la figure 1, la source est animée d'une vitesse  $\vec{V}$  par rapport au référentiel du laboratoire. Un observateur immobile dans ce référentiel est placé au point  $O$ . On repère par le vecteur  $\vec{F}$  la position de la source qui a émis le signal reçu en  $O$  et on note  $\theta$  l'angle entre  $\vec{V}$  et l'axe de visée définie par le vecteur  $-\vec{F}$ .

a)- On veut étudier d'abord le problème classiquement, dans le référentiel du laboratoire.

1) Exprimez la durée  $\Delta t_0$  séparant la réception de 2 flashes pour l'observateur en fonction de  $\Delta t_1$ , période d'émission du signal dans le référentiel de l'observateur (on calculera à l'ordre le plus bas en  $\Delta t_1$ )

2) Y a-t-il un effet Doppler classique transverse pour  $\theta = \frac{\pi}{2}$  ?

b)- On traite maintenant le phénomène en utilisant la relativité restreinte. Dans quel référentiel l'intervalle de temps séparant 2 flashes est un temps propre ? En déduire la fréquence  $\nu_0$  mesurée par l'observateur en fonction de  $\theta, V$  et de la fréquence  $\nu'$ , de la source.

B. On s'intéresse à l'aspect du ciel tel qu'il est perçu par un observateur, Ahmed. On appelle  $R$  un référentiel où les étoiles sont supposées fixes et  $\theta$  l'angle (dans  $R$ ) entre une étoile lointaine et l'axe  $(Ox)$ . Ahmed est situé sur l'axe  $(Ox)$  est animé d'une vitesse  $V$ .

1) Par une analyse classique, calculer l'angle  $\theta'$  sous lequel Ahmed voit une étoile d'angle  $\theta$  dans  $R$ .

2) De même, calculer l'angle  $\theta'$  sous lequel Ahmed voit cette étoile dans une analyse relativiste.

3) Calculer de même la fréquence  $\omega'$  qui serait détectée par Ahmed si l'étoile envoyait une fréquence unique  $\omega$ .

Concours d'accès au Doctorat LMD

Epreuve : Semi-conducteurs et cellules solaires

Durée : 1H30

Exercice N°1: (6 Pts.)

1- Soit un cristal de silicium à  $T=300$  K. Le niveau de fermi est situé à  $0,25$  eV en-dessous de la bande de conduction. Calculer la concentration à l'équilibre en électrons et en trous.  
 Données :  $E_g(\text{Si})=1,12$  eV,  $N_c=2,8 \cdot 10^{19}$  cm<sup>-3</sup>,  $N_v=1,04 \cdot 10^{19}$  cm<sup>-3</sup>.  $KT=0,025$  eV

2-On considère un barreau de silicium de  $2$  cm de long et  $0,1$  cm<sup>2</sup> de section. Le silicium est de type N ( $N_b=5 \cdot 10^{15}$  cm<sup>-3</sup>). On applique aux bornes de ce barreau une tension de  $12$  Volts et on mesure un courant de  $720$  mA. Calculer la mobilité des électrons.  $q=1,6 \cdot 10^{-19}$  C

Exercice N°2: (8pts.)

Soit le circuit équivalent d'une cellule solaire représenté sur la figure1(a).

1-Quelle est la relation entre les trois intensités de courant :  $I$ ,  $I_d$  et  $I_{ph}$  ?

2-Si le courant qui débite dans la cellule solaire (diode) est de la forme :

$I_d=I_s \cdot \exp [(qU/nKT)-1]$ ;  $I_s$  est le courant de saturation,  $n$  : facteur d'idéalité de la diode. Montrer que l'expression de la tension de circuit ouvert s'écrit :  $V_{oc}=(nKT/q) \ln [I_{cc}/I_s +1]$

3-Si on suppose que la cellule solaire (diode) est assimilée à un générateur de courant en série avec  $R_s$  : résistance série et en parallèle avec  $R_p$  : résistance parallèle (Fig.1b). Donner l'expression du courant débité dans la diode  $I_d$  en fonction de la tension  $U$ ,  $R_s$ ,  $R_p$  et  $n$ .

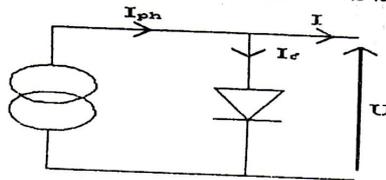


Fig.1(a)

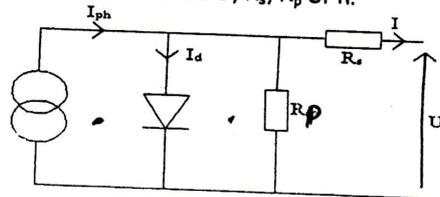


Fig.1(b)

Exercice N°3: (6 Pts)

La figure 2 suivante présente une caractéristique courant-tension d'une cellule solaire à base de silicium de surface  $10\text{cm} \times 12\text{cm}$ . A partir de la figure:

- 1- Définir le courant de court circuit  $I_{cc}$  et donner sa valeur.
- 2- Définir la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  et donner sa valeur.
- 3- Le point de fonctionnement maximum de la cellule  $P_m$  ( $I_m, V_m$ )
- 4- Le facteur de forme FF.
- 5- Le rendement  $\eta$  pour une puissance d'éclairage égale à  $100 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2}$
- 6- Quelle relation existe-il entre le rendement et le facteur de forme ?

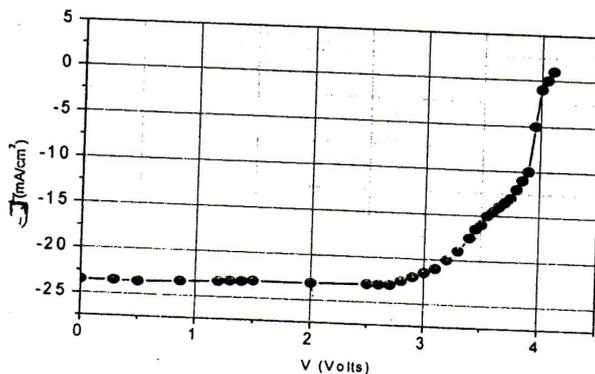


Fig.2

Bon courage

**Département de Physique**  
**Concours d'accès à la formation de 3<sup>ème</sup> cycle 2012/2013**  
**10 Novembre 2012**  
**Epreuve de Physique Générale**  
**Durée : 90 minutes**

**Constantes Physiques**

Nom	Symbole	Valeur
Célérité de la lumière dans le vide	$c$	$299\,792\,458\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Perméabilité magnétique du vide	$\mu_0$	$4\pi\times 10^{-7}\ \text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ (ou $\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$ )
Permittivité diélectrique du vide	$\epsilon_0$	$8,854\,187\,817\dots\times 10^{-12}\ \text{A}^2\cdot\text{s}^4\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$
Impédance caractéristique du vide	$Z_0$	$376,730\,313\,461\dots\ \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{A}^{-2}\cdot\text{s}^{-3}$
Constante de Planck	$h$	$6,626\,069\,57\times 10^{-34}\ \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ (ou $\text{J}\cdot\text{s}$ )
Charge élémentaire	$e$	$1,602\,176\,565(35)\times 10^{-19}\ \text{C}$
Masse de l'électron	$m_e$	$9,109\,382\,6(16)\times 10^{-31}\ \text{kg}$
Masse du proton	$m_p$	$1,672\,621\,71(29)\times 10^{-27}\ \text{kg}$
Masse du neutron	$m_n$	$1,674\,927\,28(29)\times 10^{-27}\ \text{kg}$
Magnéton de Bohr	$\mu_B$	$9,274\,009\,49(80)\times 10^{-24}\ \text{A}\cdot\text{m}^2$
Nombre d'Avogadro	$N_A$	$6,022\,141\,29(27)\times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$
Constante de Boltzmann	$k_B$	$1,380\,648\,8(13)\times 10^{-23}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$
Constante de Rydberg	$R_\infty$	$1.097\times 10^7\ \text{m}^{-1}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	$5,670\,373(21)\times 10^{-8}\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$
Unité de masse atomique	$u_{\text{ma}}$	$1,660\,538\,86(28)\times 10^{-27}\ \text{kg}$
Constante des gaz parfaits	$R$	$8,314\,462\,1(75)\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$
Accélération de la pesanteur à la surface de la Terre	$g$	$9,806\,65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

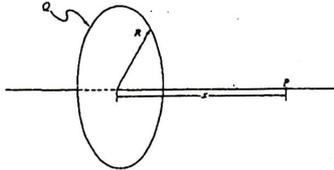
**Important !**

Les questions suivantes sont suivies de cinq réponses. Il faut choisir une seule réponse qui vous semble la plus correcte.

Cocher la case correspondante à la réponse choisie dans votre **Fiche de Réponse**. La question qui aura plus d'une réponse sera systématiquement comptabilisée fausse.

Série C

1. Une spire non conductrice de rayon R porte une charge Q uniformément répartie.



Le potentiel électrique créé en point P sur l'axe de symétrie à une distance x du centre de la spire est donné par

- (A)  $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 x}$   
 (B)  $\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 \sqrt{R^2 + x^2}}$   
 (C)  $\frac{Qx}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)}$   
 (D)  $\frac{QRx}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)^{3/2}}$   
 (E)  $\frac{QR}{4\pi\epsilon_0 (R^2 + x^2)}$

2. Une particule est dans un mouvement circulaire avec un rayon de 10 mètre. À un instant donné, sa vitesse était de 10 mètres par seconde et augmentait à une cadence de 10 mètres par seconde. L'angle entre les vecteurs de vitesse et d'accélération est:

- (A)  $0^\circ$   
 (B)  $30^\circ$   
 (C)  $45^\circ$   
 (D)  $60^\circ$   
 (E)  $90^\circ$

3. Une particule libre avec initialement une énergie cinétique E et longueur d'onde de Broglie  $\lambda$  entre dans une région où son énergie potentielle est V. Quelle est la nouvelle longueur d'onde de Broglie ?

- (A)  $\lambda (1 + E/V)$   
 (B)  $\lambda (1 - V/E)$   
 (C)  $\lambda (1 - E/V) - 1$   
 (D)  $\lambda (1 + V/E) 1/2$   
 (E)  $\lambda (1 - V/E) 1/2$

4. Un objet est jeté horizontalement d'une fenêtre ouverte d'un immeuble. Si sa vitesse initiale était 20 m/s et arrive au sol après 2 secondes, quelle la hauteur de la fenêtre ? (on néglige la résistance de l'air)

- (A) 4.9 m  
 (B) 9.8 m  
 (C) 10 m  
 (D) 19.6 m  
 (E) 39.2 m

5. Un tube acoustique ouvert des deux extrémités a une fréquence de résonance de 440 hertz à une température de  $20^\circ\text{C}$ . Quand il fait très froid la vitesse du son diminue de 3%. Quelle est la fréquence de résonance du tube quand il fait très froid ?

- (A) 414 Hz  
 (B) 427 Hz  
 (C) 433 Hz  
 (D) 440 Hz  
 (E) 453 Hz

6. Deux ressorts identiques de raideur k sont connectés à une masse M de deux manières différentes selon Figure.1 et Figure.2.

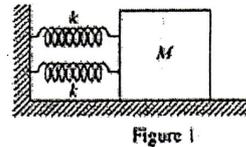


Figure 1

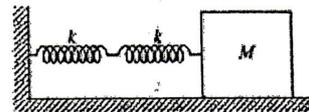


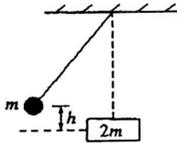
Figure 2

Le rapport de la période d'oscillation dans le cas en parallèle sur la période d'oscillation dans le cas en série est :

- (A)  $\frac{1}{2}$   
 (B)  $\frac{1}{\sqrt{2}}$   
 (C) 1  
 (D)  $\sqrt{2}$   
 (E) 2

2 C

1. Comme il est montré dans la figure,



la masse du pendule simple  $m$  est lâchée d'une hauteur  $h$  et quand elle passe par sa plus basse position elle frappe le block de masse  $2m$  qui est au repos sur un plan horizontal sans frottement. Après la collision la masse du pendule atteint une hauteur maximale :

- (A)  $1/9 h$
- (B)  $1/8 h$
- (C)  $1/3 h$
- (D)  $1/2 h$
- (E)  $2/3 h$

8. La solution de l'équation de Schrödinger pour l'état fondamental de l'hydrogène est:

$$\psi_0 = \frac{1}{\sqrt{\pi a_0^3}} \text{Exp}\left(-\frac{r}{a_0}\right)$$

$a_0$  est le rayon de Bohr et  $r$  la distance à partir du centre de l'atome. Quelle est la valeur la plus probable pour  $r$  ?

- (A) 0
- (B)  $\frac{a_0}{2}$
- (C)  $a_0$
- (D)  $2a_0$
- (E)  $\infty$

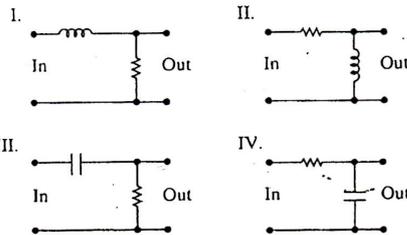
9. L'énergie cinétique moyenne d'une particule par degré de liberté selon le théorème d'équipartition est :

- (A)  $\frac{1}{2} K_B T$
- (B)  $\frac{2}{3} K_B T$
- (C)  $\frac{1}{2} K_B T^2$
- (D)  $\frac{2\pi}{3} K_B T$
- (E)  $\sqrt{\frac{2}{3}} K_B T$

10. Dans le spectre émis par l'hydrogène, quel est le rapport de la longueur d'onde la plus longue de la série de Lyman ( $n_f = 1$ ) sur la longueur la plus longue de la série de Balmer ( $n_f = 2$ )?

- (A)  $5/27 \times$
- (B)  $1/3$
- (C)  $4/9 \times$
- (D)  $3/2$
- (E) 3

11. Quels sont les deux circuits qui sont des filtres Passe-haut ?



- (A) I et II
- (B) I et III
- (C) I et IV
- (D) II et III
- (E) II et IV

12. Deux sphères conductrices identiques, A et B portent des charges électriques égales. Elles sont initialement séparées par une distance très grande par rapport à leur diamètre et la force de coulomb entre elles est  $F$ . On amène une troisième sphère C identique non chargée et on la met en contact d'abord avec A puis avec B et on l'éloigne des deux sphères. La force entre A et B devient :

- (A) 0
- (B)  $F/16$
- (C)  $F/4$
- (D)  $3F/8$
- (E)  $F/2$

13. Une substance radioactive peut se désintégrer par deux processus successifs, par émission  $\beta$  et puis par émission  $\gamma$ .

La demi-période de l'émission  $\gamma$  est de 24 minutes et celle de l'émission  $\beta$  est de 36 minutes. La demi-période de la substance est :

- (A) 30 minutes
- (B) 24 minutes
- (C) 20,8 minutes
- (D) 14,4 minutes
- (E) 6 minutes

Série C

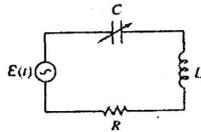
14. Quand  ${}^9_4\text{Be}^7$  se désintègre en  ${}^7_3\text{Li}^7$ , il y a émission de :

- (A) particule alpha seulement
- (B) un électron seulement
- (C) un neutron seulement
- (D) un positron seulement
- (E) capture d'un électron et émission d'un neutrino

15. Un photon d'énergie égale à l'énergie de l'électron au repos subit une diffusion par effet de Compton et perd 2/3 de son énergie. L'angle de diffusion du photon est :

- (A) 0
- (B)  $\frac{\pi}{2}$
- (C)  $\frac{3\pi}{2}$
- (D)  $\pi$
- (E)  $2\pi$

16. Un circuit est constitué d'éléments montrés dans la figure ci-dessous



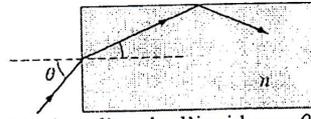
avec  $R = 10000$  ohms,  $L = 25$  mH et  $C$  variable. La force électromotrice alternative délivre une tension d'amplitude de 40 Volts et une pulsation  $\omega = 1000$  radians par seconde. Pour quelle valeur de  $C$  l'amplitude du courant est maximale ?

- (A) 4 nF
- (B) 40 nF
- (C) 4 μF
- (D) 40 μF
- (E) 400 μF

17. Quelle est la vitesse d'une particule ayant une quantité de mouvement 5 MeV/c et une énergie relativiste totale 10 MeV ?

- (A)  $c$
- (B)  $0.75 c$
- (C)  $\frac{1}{\sqrt{3}} c$
- (D)  $\frac{1}{2} c$
- (E)  $\frac{1}{4} c$

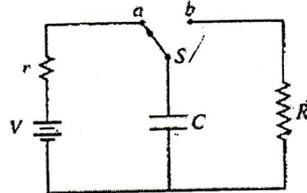
19. La figure suivante montre un modèle d'une fibre optique qui a un indice de réfraction  $n$  et entouré par le vide.



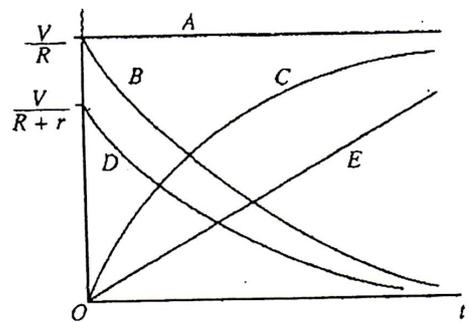
Quel est l'angle d'incidence  $\theta$  qui permet de maintenir le rayon lumineux à l'intérieur du fibre ?

- (A)  $\theta > \sin^{-1}(\sqrt{n^2 - 1})$
- (B)  $\theta < \sin^{-1}(\sqrt{n^2 - 1})$
- (C)  $\theta > \sin^{-1}(\sqrt{n^2 + 1})$
- (D)  $\theta < \sin^{-1}(\sqrt{n^2 + 1})$
- (E)  $\sin^{-1}(\sqrt{n^2 - 1}) < \theta < \sin^{-1}(\sqrt{n^2 + 1})$

20. On considère le circuit électrique suivant :



La capacité est chargée en fermant l'interrupteur en position a. Si l'interrupteur est fermé en position b à  $t = 0$ . Laquelle des courbes de la Figure ci-dessous représente-elle le courant à travers la résistance  $R$  en fonction de temps ?



21. Le coefficient statique de frottement d'une petite pièce de monnaie sur un Tourne-disque est égal à 0,30. Le Tourne-disque tourne avec une vitesse de 33.32 tours par minute. Quelle est la distance maximale du centre du Tourne-disque dans laquelle la pièce de monnaie ne va pas glisser.

- (A) 0,024 m
- (B) 0,048 m
- (C) 0,121 m
- (D) 0,242 m
- (E) 0,484 m

la réponse 18 21 20 23

erie C

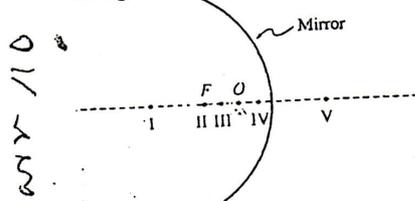
22. Un très long fil est uniformément chargé avec une densité de charge électrique par unité de longueur  $\lambda$ . Quel est la valeur du champ électrique à une distance radiale  $r$  du fil.

- (A)  $\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$
- (B)  $\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{r}{\lambda}$
- (C)  $\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r^2}$
- (D)  $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r^2}$
- (E)  $\frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0} \ln(r)$

23. Un rayonnement visible de longueur d'onde égale à 500 nanomètres tombe sur le sodium qui a une énergie d'extraction égale à 2,28 eV. Quelle est l'énergie cinétique des photoélectrons les plus rapides ?

- (A) 0.03 eV
- (B) 0.2 eV
- (C) 0.6 eV
- (D) 1.3 eV
- (E) 2.0 eV

24. Un miroir sphérique concave est montré dans la figure ci-dessous.

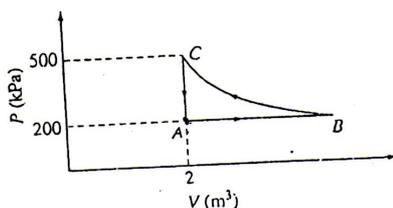


20/10/110  
20/10/110

Le point focal  $F$  et l'emplacement de l'Object  $O$  sont indiqués. L'image de l'objet formée par le miroir sera localisée dans le point :

- (A) I
- (B) II
- (C) III
- (D) IV
- (E) V

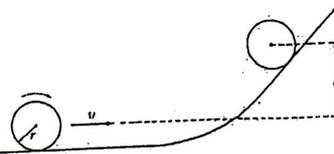
24. Un gaz idéal subit un cycle fermé de transformation ABC.



La transformation BC est isotherme. Le travail effectué pendant ce cycle complet commençant et terminant en point A est pratiquement égale à

- (A) 600 kJ
- (B) 300 kJ
- (C) 0
- (D) -300 kJ
- (E) -600 kJ

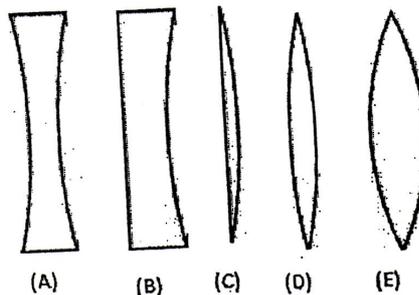
25. Un disque uniforme de rayon  $r$  et de masse  $m$  roule sans glissement sur une surface horizontale sans frottement puis il rampe à une hauteur  $h$  comme le montre la figure ci-dessous :



Si sa vitesse initiale est  $v$  quelle est la hauteur maximale  $h$  du centre du disque ?

- (A)  $h = \frac{v^2}{2g}$  ✓
- (B)  $h = \frac{3v^2}{4g}$  ✗
- (C)  $h = \frac{v^2}{g}$  ✓
- (D)  $h = \frac{3v^2}{2g}$  ✗
- (E)  $h = \frac{2v^2}{g}$  ✓

26. Si les 5 lentilles sont fabriquées du même verre, quelle est la lentille qui a la distance focale la plus courte ?



27. Si la température absolue d'un corps noir est augmentée par un facteur de 3, alors l'énergie émise par unité de surface et par unité de temps sera :

- (A) sera diminuée par un facteur de 81
- (B) sera diminuée par un facteur de 9
- (C) sera augmentée par un facteur de 27
- (D) sera augmentée par un facteur de 9
- (E) sera augmentée par un facteur de 81



### Exercice 1

- 1- Calculer le flux traversant une vitre de  $1 \text{ m}^2$  de surface et de  $3,5 \text{ mm}$  d'épaisseur. La température de la face interne de la vitre est égale à  $10^\circ\text{C}$ , celle de la face externe est égale à  $5^\circ\text{C}$ .
- 2- En déduire la résistance thermique de la vitre.  
Conductivité thermique du verre :  $\lambda_v = 0,7 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- 3- Pour les mêmes températures de paroi, calculer le flux traversant un  $\text{m}^2$  de mur de briques de  $26 \text{ cm}$  d'épaisseur. En déduire la résistance thermique.  
Conductivité thermique des briques :  $\lambda_b = 0,52 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

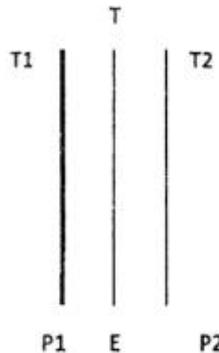
### Exercice 2

Une enceinte vide est définie par deux parois planes de grande surface par rapport à leur distance et isothermes aux températures  $T_1$  et  $T_2$ . On dispose entre ces deux parois et parallèlement à elles un écran en acier inoxydable de  $1 \text{ mm}$  d'épaisseur préalablement à la température  $T_0$ .

On admettra que toutes les surfaces présentent les propriétés d'un corps noir parfait : coefficient d'absorption  $\alpha$  et d'émission  $\epsilon$  tels que  $\alpha=\epsilon=1$ .

En faisant un bilan des énergies thermiques rayonnées par les parois planes et l'écran, établir l'équation de variation de la température de l'écran en fonction du temps  $T(t)$ .

On rappelle que l'énergie rayonnée par une paroi portée à la température  $T$  pendant le temps  $dt$  est  $dQ = \sigma T^4 dt$  (loi de stephan ;  $\sigma$  constante de stephan)





### Exercice 1

- 1- Qu'elle est la différence entre un métal, un semiconducteur et un isolant, et qu'est ce qui explique cette différence dans la théorie des bandes? Compléter votre réponse par un schéma.
- 2- Quelle est la différence entre un matériau à Gap « direct » et « indirect ». Compléter votre réponse par un schéma.
- 3- Dans un matériau semiconducteur, pourquoi donne-t-on à l'électron dans la bande de conduction une masse effective  $m_e^*$  ? Comment déduire cette masse à partir des relations de dispersions  $E(k)$  ?
- 4- Qu'est-ce qu'un trou et pourquoi, à lui aussi, associer une masse effective  $m_h^*$  ?

### Exercice 2

On considère un semi-conducteur intrinsèque dont les densités équivalentes d'états énergétiques dans la bande de conduction et dans la bande de valence sont notées respectivement  $N_C$  et  $N_V$ .

- 1- Rappelez les expressions de la densité d'électron  $n$  dans la bande de conduction et la densité de trous  $p$  dans la bande de valence.
- 2- En déduire l'expression de la densité intrinsèque  $n_i$  et la position du niveau de Fermi intrinsèque  $E_{Fi}$ . Le semi-conducteur considéré est du silicium de largeur de bande interdite (ou gap)  $E_g=1,1\text{eV}$  et pour lequel  $N_C=2,7.10^{19}\text{cm}^{-3}$  et  $N_V=1,1.10^{19}\text{cm}^{-3}$ .
- 3- Calculez sa densité intrinsèque et la position du niveau de Fermi à  $27^\circ\text{C}$ ,  $127^\circ\text{C}$  et  $227^\circ\text{C}$ . On rappelle qu'à  $300\text{K}$ ,  $kT=0,026\text{eV}$ , on prendra comme référence énergétique, le haut de la bande de valence ( $E_V=0\text{eV}$ ).

Université d'Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem  
Faculté des sciences et technologie  
Département de Génie électrique  
Année universitaire 2012/2013  
Doctorat (AM) Matériaux, optoélectronique et énergie

Examen de module Physique des semi conducteurs  
(01 heure 30mn)

- 1) Quelles sont les valeurs approximatives des gaps de Si, Ge, et GaAs à la température ambiante ?  
Lequel est un semi conducteur à gap indirect ou direct ? Justifiez vos réponses. (02pts)
- 2) Comment les électrons et les trous sont ils répartis dans la BC et la BV, respectivement. (02pts)
- 3) Considérons un semi-conducteur contenant une densité  $N_d$  de donneurs et une densité  $N_a$  d'accepteurs. Soient  $N_d^+$  le nombre de donneurs ionisés, et  $N_a^-$  le nombre d'accepteurs ionisés.
  - Donner L'équation de neutralité électrique du matériau. (01,5pts)
  - Que devient cette équation de neutralité dans le cas d'un semi-conducteur de type n, non dégénéré et dépourvu d'accepteurs. (01,5pts)
- 4) Quelle est la position du niveau de Fermi pour un semi conducteur intrinsèque. Justifiez votre réponse. (02pts)
- 5) Dans quel cas les porteurs majoritaires sont les électrons et les porteurs minoritaires sont les trous et inversement. (02pts)
- 6) Comment évolue le niveau de Fermi avec la température. Donner l'Allure de variation du niveau de Fermi avec la température dans un semi conducteur de type n avec  $N_v > N_c$ . (02pts)
- 7) Quelles sont les équations de courants et de continuités pour l'électron et le trou. (03pts)
- 8) Comment fait-on apparaître une charge d'espace de part et d'autre de la jonction. Expliquer par un schéma. (02pts)
- 9) Quelle est la signification physique qu'on peut donner à la longueur de Debye. (02pts)



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبو بكر بلقايد بنستلمسان  
Université Aboubekr BELKAID  
كلية العلوم - تيجاني هدام  
Faculté des Sciences - Tidjani HAddam



## Concours D'accès au Diplôme de Doctorat en LMD Chimie Physique et Analytique

### Partie A : Thermodynamique (5 points)

#### Exercice 1

On considère un mélange liquide-vapeur constitué pour la phase liquide de cyclohexane pur, et pour la phase vapeur d'un mélange eau-cyclohexane.

- Définir le potentiel chimique  $\mu_i$  pour une espèce chimique  $i$ , et établir une relation entre  $\mu_i$ , l'enthalpie molaire partielle  $h_i$  et l'entropie molaire partielle  $s_i$  du constituant  $i$ .
- Exprimer le potentiel chimique du cyclohexane  $\mu_2^v(T,P)$  dans la phase vapeur supposée parfaite en fonction de  $\mu_2^g(T,P)$ , potentiel chimique du cyclohexane gaz parfait pur sous la pression totale  $P$  et à la température  $T$ , et de  $x_2^v$ , fraction molaire du cyclohexane dans la vapeur.
- Que devient cette expression pour un gaz réel ?
- Exprimer la condition d'équilibre entre les différentes phases pour le constituant cyclohexane.

#### Exercice 2

L'ajout de 35g de glucose dans 100g d'eau entraîne une élévation de 1K de la température d'ébullition de l'eau.

Calculer la masse molaire du glucose.

$$T_{eb} = 373 \text{ K}; \Delta H_{vap} = 40,6 \text{ kJ.mol}^{-1}; M_{H_2O} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$$

### Partie B : Electrochimie (5 points)

Le pH d'une solution de chlorure de magnésium de concentration  $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  est augmenté à volume constant. A pH=9.5 et à 25 °C apparaît un précipité.

- Quelle est sa nature ? Quel est le produit de solubilité correspondant ?
- Quelle est la valeur du potentiel apparent du couple  $Mg^{2+}/Mg$  à  $pH=11$  ?
- Tracer le diagramme pH-potentiel du magnésium, limité à  $Mg^{2+}$ ,  $Mg(OH)_2$  et  $Mg$  pour une concentration de  $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ . Indiquer quelles sont les zones de corrosion, de passivation, d'immunité.

$$E_{Mg^{2+}/Mg}^0 = -2,36 \text{ V}$$

**Partie C : Chimie quantique (5 points)**

- Ecrire l'expression de l'hamiltonien exact d'une molécule constituée de  $N$  noyaux et  $n$  électrons. Que devient cette expression si on utilise l'approximation de Born-Oppenheimer et l'approximation mono-électronique ?
- Dresser un tableau de comparaison entre les méthodes EHT (*Extended Huckel Theory*) et HFR (*Hartree-Fock-Roothaan*).
- En utilisant la méthode de Huckel simple, calculer l'énergie de résonance dans la molécule de cyclobutadiène  $C_4H_8$ . Conclure.

**Partie D : Séparation et interactions moléculaires (5 points)**

La séparation de deux composés A et B par RP-HPLC avec une colonne de phase stationnaire de silice greffée en C18. La phase mobile est un mélange binaire d'eau et d'acétonitrile (MeCN). On admettra qu'il existe une relation linéaire entre le logarithme du facteur de capacité et le pourcentage d'acétonitrile du mélange binaire eau/acétonitrile utilisé. A partir de 2 chromatogrammes obtenus l'un avec pour phase mobile un mélange eau/acétonitrile 70/30 en v/v et l'autre avec un mélange eau/acétonitrile 30/70 en v/v, les équations des deux droites sont :

Pour le composé A :  $\log k_A = -6,075 \times 10^{-3} (\% \text{MeCN}) + 1,3283$

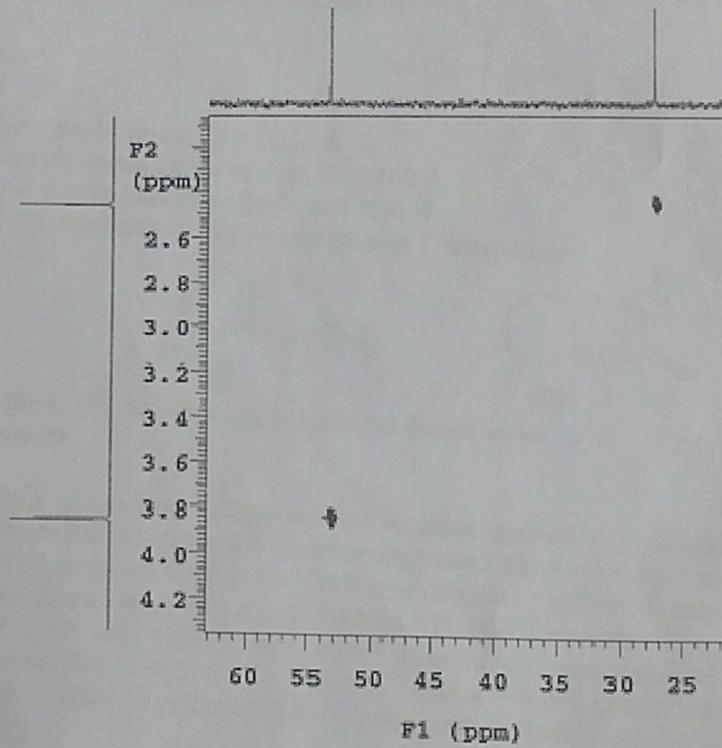
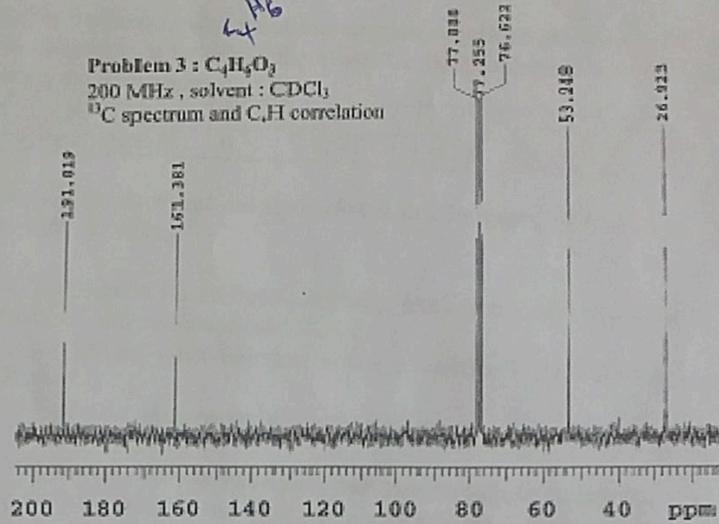
Pour le composé B :  $\log k_B = -0,0107 \times 10^{-3} (\% \text{MeCN}) + 1,5235$

- Trouver la composition de la phase binaire qui conduirait à un facteur de sélectivité égal à 1.
- On suppose que pour chaque composé, la largeur du pic correspondant sur le chromatogramme à mi-hauteur est la même et que l'efficacité de la colonne n'est pas modifiée suivant la composition de la phase mobile. La résolution entre les deux pics est-elle meilleure pour la phase mobile contenant 70% d'eau ou 30% d'eau ? Montrer l'intérêt pratique du choix précédent.

(6)

4 H<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Problem 3 : C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>  
200 MHz , solvent : CDCl<sub>3</sub>  
<sup>13</sup>C spectrum and C,H correlation



Partie C : (5 points)

Exercice 1 : Pour doser l'élément fer dans l'eau minérale, on transforme tous les ions fer en Fe<sup>2+</sup>. Ces ions sont ensuite complexés par de l'orthophénantroline et on obtient ainsi une solution colorée en rouge.

(4)

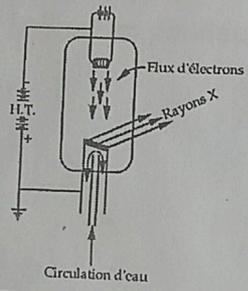


Figure 1

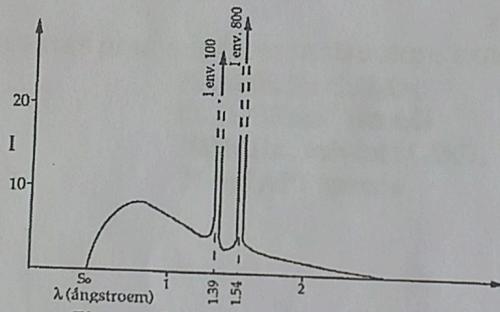


Figure 2

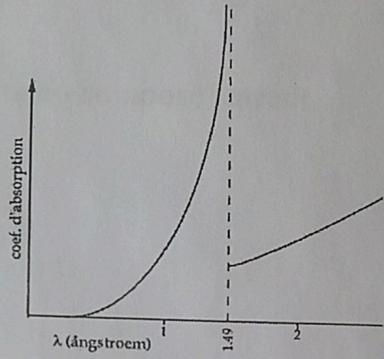


Figure 3

N.B. : Tous les symboles utilisés doivent être définis

Questions de cours

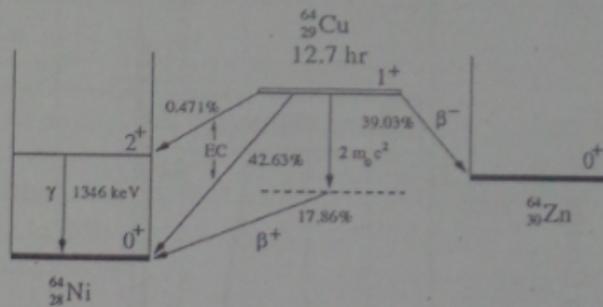
1. Qu'est-ce que le straggling en énergie pour une particule chargée ?
2. Rappeler la relation reliant l'angle de diffusion dans le centre de masse, le diamètre de collision et le paramètre d'impact pour une diffusion coulombienne en description classique. Rappeler l'expression du diamètre de collision.
3. Donner l'expression du paramètre d'impact adiabatique dans la théorie classique du ralentissement de Bohr, lors du choc d'une particule chargée avec un atome.
4. Donner les conditions d'application de la théorie de Bethe non relativiste pour le ralentissement de particules chargées lourdes.
5. On considère des protons et des électrons de même vitesse. Lesquels émettent le plus de rayonnement électromagnétique ?
6. Quelle est l'origine du terme d'échange dans la diffusion électron-électron ?

Exercice 1

Le schéma de désintégration du radioélément  $^{64}_{29}\text{Cu}$  est représenté ci-contre.

On donne :  $Q_{\beta^-} = 578.8 \text{ keV}$  et  $Q_{\text{EC}} = 1675.10 \text{ keV}$ .

1. Calculer les énergies maximales des  $\beta^+$  et des  $\beta^-$  émis!
2. Expliquer pourquoi ce radioélément émet en même temps des  $\beta^+$  et des  $\beta^-$ .



Ce radioélément est produit à partir de la réaction  $^{63}_{29}\text{Cu}(d,p)$  sur une cible mince de cuivre naturel d'épaisseur  $\Delta x = 2.4 \mu\text{m}$ . L'abondance du  $^{63}_{29}\text{Cu}$  est 69.17%, la densité du Cu est  $\rho = 8.933 \text{ g/cm}^3$  et la masse atomique est  $A=63.55 \text{ g}$ .

3. Calculer le nombre de noyaux  $^{63}_{29}\text{Cu}$  par unité de surface ( $n\Delta x$ ), où  $n$  représente le nombre de noyaux par unité de volume.
4. La section efficace de la réaction est  $\sigma = 1.38 \text{ mb}$ . La charge totale des deutons incidents, collectée pendant une durée  $t=889.4 \text{ mn}$ , est  $Q=47.1 \text{ mC}$ . Calculer le nombre de réactions produites par seconde.
5. Quelle est l'activité de la source à la fin de l'irradiation ?

### Exercice 2 : Rayons x

Un générateur de rayons x est réalisé en bombardant une anticathode en or (Au) par un faisceau monocinétique d'électrons accélérés sous une différence de potentiel de 15 kV. Le spectre de photons x obtenu est représenté ci-dessous (spectre a).

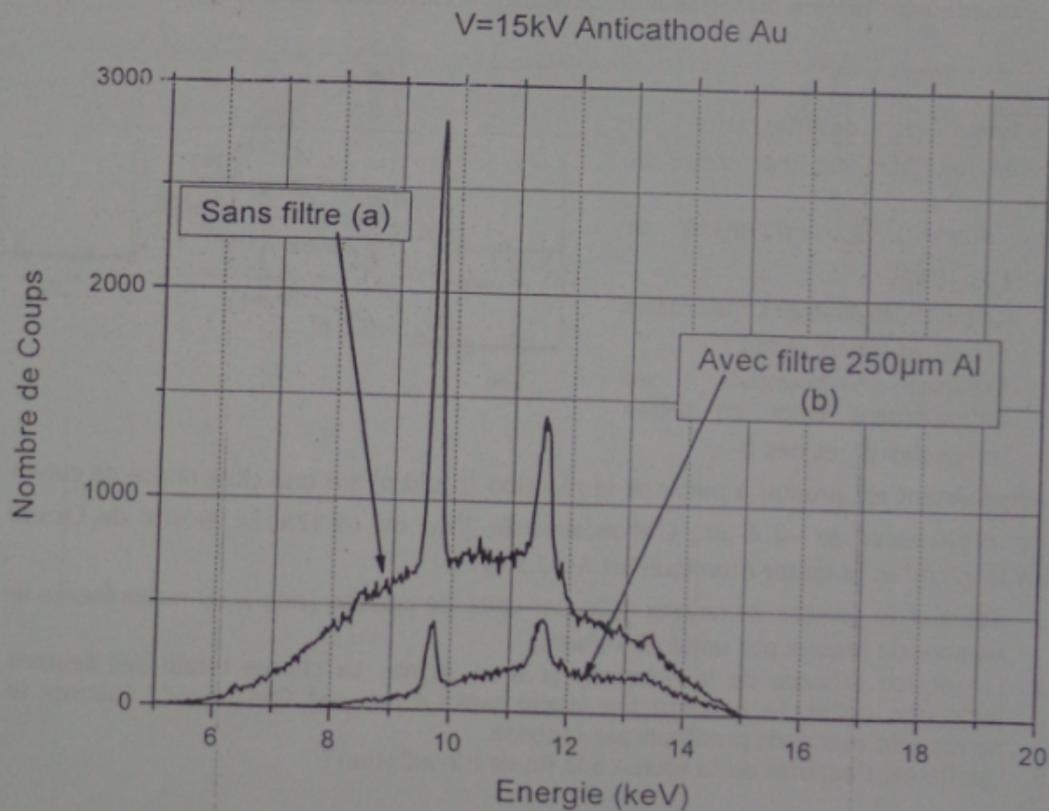
1. Peut-on observer les raies K de l'or ?
2. Expliquer la forme du spectre de photons et, en particulier, l'énergie maximale et la présence des deux pics. Indiquer sur un diagramme d'énergie les transitions possibles  $M \rightarrow L$ . A quelles transitions peuvent correspondre les deux pics ? Justifiez votre réponse.
3. On interpose entre le générateur et le détecteur une couche d'aluminium (Al) d'épaisseur  $250 \mu\text{m}$  (densité  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ) (spectre b). Calculer le coefficient d'atténuation massique des photons  $(\mu/\rho)$  dans l'aluminium aux énergies 9, 11 et 13 keV successivement.
4. Quel est le processus physique principal responsable de l'absorption ? Comment évolue alors la section efficace en fonction de l'énergie ?

On donne les énergies d'ionisation des niveaux de l'Au :

$$E_K = 80.72 \text{ keV ;}$$

$$E_{L_1} = 14.35 \text{ keV ; } E_{L_2} = 13.73 \text{ keV ; } E_{L_3} = 11.92 \text{ keV}$$

$$E_{M_1} = 3.42 \text{ keV ; } E_{M_2} = 3.15 \text{ keV ; } E_{M_3} = 2.74 \text{ keV ; } E_{M_4} = 2.29 \text{ keV ; } E_{M_5} = 2.21 \text{ keV}$$





UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE

FACULTE DE PHYSIQUE

Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle 2013-2014

Spécialité : Physique des Matériaux

Epreuve : Matériaux Diélectriques, Polymères et

Composants Electroniques à Semi- Conducteurs (durée : 02 heures)



## Sujet B

### Exercice 1 :

- 1- Qu'est-ce que une diode Schottky ?
- 2- Qu'est-ce qu'un contact ohmique ?
- 3- Que représente la barrière de potentiel dans une jonction PN à l'équilibre ?
- 4- Qu'est-ce que la région de désertion dans une jonction PN à l'équilibre? A quoi est-elle due ?
- 5- Nommez les courants qui existent quand une diode est en équilibre.
- 6- Dessinez la structure physique réelle d'une diode PN.
- 7- Décrivez les processus physiques intervenant lors de la mise en contact d'un matériau semiconducteur de type P et un matériau de type N ensemble pour former une diode PN.

8- Quelle est la différence physique entre une diode PN et une diode Schottky?

9- On donne le tableau suivant :

Matériau	$E_g$ [eV]	$N_c$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]	$N_v$ [ $\text{cm}^{-3}$ ]
GaAs	1,44	$4,7 \cdot 10^{17}$	$7 \cdot 10^{18}$
Ge	0,67	$1,04 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{18}$
Si	1,12	$2,8 \cdot 10^{19}$	$1,04 \cdot 10^{19}$

a- Parmi ces trois semi-conducteurs, quel est celui qui présente la concentration intrinsèque la plus faible ?

b- Calculer  $n_i$  pour ce semi-conducteur à 300 K.

10- Le Germanium est caractérisé par :

Masse atomique  $M = 72,6$  g, masse volumique  $d = 5,32$  g/ $\text{cm}^3$ , gap  $E_g = 0,67$  eV.

Nombre d'Avogadro  $\aleph = 6,023 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>,  $k_B = 8,62 \cdot 10^{-5}$  eV/K.

Densité effective d'états énergétiques à 300 K,  $N_c = 1,04 \cdot 10^{19}$  cm<sup>-3</sup>,  $N_v = 6 \cdot 10^{18}$  atomes/cm<sup>-3</sup>

a. déterminer le nombre d'atomes par cm<sup>3</sup>.

b. calculer la concentration intrinsèque à 300 K.

11- Un matériau intrinsèque est dopé par  $N_D$  atomes donneurs et  $N_A$  atomes accepteurs.

a. Donner l'expression de la concentration de porteurs libres  $n_0$  en fonction de la concentration intrinsèque  $n_i$  et de  $N = N_D - N_A$

b. Quel est le signe de  $N$  si le semi-conducteur est de type n ? de type p ?

c. On suppose  $N_D \gg N_A$ . Faire un développement limité de  $n_0$  en fonction de  $n_i/N$ .



UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE

FACULTE DE PHYSIQUE

Concours d'accès au Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle 2012-2013

Spécialité Physique des Matériaux

Epreuve : Elasto-dynamique & Métallurgie physique

Durée : 2 heures



**Partie A : Elasto-dynamique (12 points)**

**II. Propagation d'une onde acoustique dans un fluide: (3 points)**

Sous l'effet d'une onde acoustique, les particules du milieu de propagation (l'air) oscillent à la fréquence de 1 kHz autour de leur position d'équilibre. L'amplitude de l'élongation est  $U_0 = 10 \text{ \AA}$ .

1. Calculer la vitesse maximale et l'accélération maximale des particules
2. Quels sont la longueur d'onde, le vecteur d'onde et la période de l'onde sonore?
3. Déterminer la dilatation maximale selon l'axe de propagation d'une tranche d'air de volume  $V$ .
4. Calculer le coefficient de compressibilité de l'air et en déduire la pression acoustique maximale.
5. Une oreille humaine peut-elle percevoir ce son ?
6. La mesure de la vitesse du son dans l'air donnée plus haut a été faite à la température de  $0^\circ\text{C}$ . En déduire la valeur du coefficient polytropique  $\gamma$  de l'air (on donne  $R=8,3143 \text{ J.K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ).
7. Calculer la pression de radiation de cette onde.

Vitesse de propagation de l'onde dans l'air à  $0^\circ\text{C}$   $c = 331 \text{ m.s}^{-1}$ .

Masse volumique de l'air :  $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$  à  $20^\circ\text{C}$

Masse molaire :  $M = 28,96 \text{ g.mol}^{-1}$

Seuil d'audibilité à 1 kHz :  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

**III. Propagation d'ondes acoustiques dans un cristal:**

**Exercice I : (5,5 points)**

Le tantalate de lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ) cristallise dans la classe 3m du système trigonal. Pour ce système le tenseur des constantes élastiques nous permet d'obtenir le tenseur de Christoffel suivant :

$$\begin{aligned} \Gamma_{11} &= c_{11} n_1^2 + c_{66} n_2^2 + c_{44} n_3^2 + 2c_{14} n_2 n_3 \\ \Gamma_{12} = \Gamma_{21} &= (c_{12} + c_{66}) n_1 n_2 + 2c_{14} n_1 n_3 \\ \Gamma_{13} = \Gamma_{31} &= 2c_{14} n_1 n_2 + (c_{13} + c_{44}) n_1 n_3 \\ \Gamma_{22} &= c_{66} n_1^2 + c_{11} n_2^2 + c_{44} n_3^2 - 2c_{14} n_2 n_3 \\ \Gamma_{23} = \Gamma_{32} &= (c_{13} + c_{44}) n_2 n_3 + c_{14} (n_1^2 - n_2^2) \\ \Gamma_{33} &= c_{33} n_3^2 + c_{44} (n_1^2 + n_2^2) \end{aligned} \quad C_{66} = (C_{11} - C_{12})/2$$

On cherche à déterminer les vitesses et les polarisations des ondes planes se propageant suivant la direction :

$$n_1 = 0, \quad n_2 = \sin \varphi, \quad n_3 = \cos \varphi \quad (\text{axe ternaire // } OX_3).$$

- a/ Quelles sont les vitesses de propagation, en fonction des constantes élastiques et de  $\varphi$ , et les polarisations des ondes se propageant suivant cette direction ?
- b/ Quelle est la direction du rayon acoustique pour l'onde transversale? Cette onde est-elle pure? Justifiez votre réponse.

**Exercice II: (04 points)**

La séquence de traitement thermique utilisée industriellement pour un alliage à base d'Al (et contenant du Cu) est donnée sur la figure 2.

1. Que se passe-t-il au cours des deux paliers à haute température ?
2. On suppose que les deux transformations de phases sont gouvernées par la diffusion du cuivre dans l'aluminium avec un coefficient de diffusion donné par l'équation d'Arrhenius :

$$D = D_0 \exp(Q/RT)$$

A l'aide de la figure 3, déterminer les valeurs de  $D_0$ , de  $Q$  et du coefficient de diffusion à la température du premier palier.

3. Donner le temps minimum que l'alliage doit passer à cette température pour que la réaction soit terminée. On suppose que la taille des grains après solidification est de l'ordre de 100  $\mu\text{m}$ .

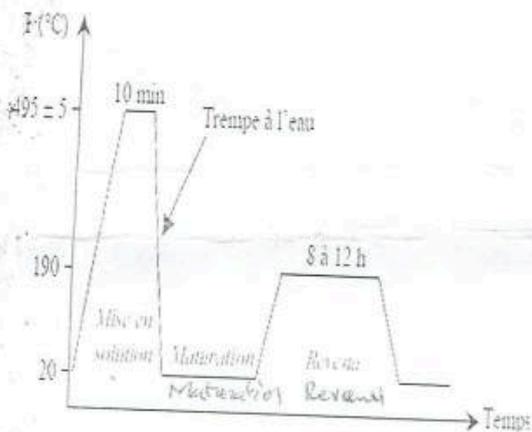


Figure 2

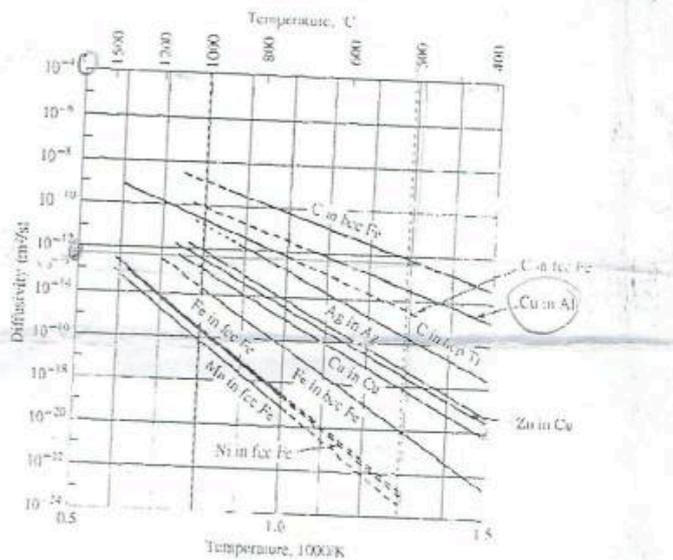


Figure 3: Coefficient de diffusion de Cu dans Al.

c/ Dans le cas où cette onde ne serait pas pure, comment faudrait-il choisir l'angle  $\varphi$  (valeurs numériques) pour qu'elle le devienne ? Quelle serait alors sa vitesse et sa vitesse d'énergie (valeurs numériques)?

- Constantes élastiques du lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ), exprimées en  $10^{10} \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$   
 $C_{11} = 23.3$  ;  $C_{12} = 4.7$  ;  $C_{13} = 8.0$  ;  $C_{33} = 27.5$  ;  $C_{44} = 9.4$  ;  $C_{14} = -1.1$
- masse volumique du  $\text{LiTaO}_3$  :  $\rho = 7.45 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
- Pour simplifier les expressions, on rappelle que :  $\sin 2\varphi = 2 \sin\varphi \cos\varphi$  et que  $\cos 2\varphi = \cos^2\varphi - \sin^2\varphi$
- $V_i^e = C_{ijkl} u_j u_l n_k / \rho V$

### Exercice II : (3,5 points)

Les composantes du déplacement, longitudinale et transversale, d'une onde élastique ont pour expression

$$U_1 = 2.5 \left( e^{-k\chi_1 x_2} - \sqrt{\chi_1 \chi_2} e^{-k\chi_2 x_2} \right) \exp j(\omega t - kx_1)$$

$$U_2 = 2.5 j \left( \sqrt{\chi_1 / \chi_2} \right) \left( e^{-k\chi_2 x_2} - \sqrt{\chi_1 \chi_2} e^{-k\chi_1 x_2} \right) \exp j(\omega t - kx_1)$$

- ✓ Tracer les courbes représentatives de  $U_1$  et de  $U_2$  en fonction de  $x_2/\lambda$  sachant que  $\chi_1 = 0,84$  et  $\chi_2 = 0,42$  (facteurs de décroissance) en déterminant approximativement les valeurs pour 4 points principaux.
- ✓ En vous inspirant de ce qui précède, dites quelle est la nature de l'onde et décrivez son comportement dans le matériau.

Pour un matériau donné, cette onde se propage à la vitesse de 3400 m/s.

- ✓ Quelle épaisseur de matériau faut-il utiliser, pour générer cette onde, si sa fréquence est de 1 MHz ?
- ✓ Une épaisseur de 1 mm convient-elle ?
- ✓ Que se passe-t-il si on essaie d'exciter cette onde dans ce dernier cas (pour  $e=1\text{mm}$ ) ?
- ✓ Comment peut-on détecter le passage de cette onde ?

**Partie B : Métallurgie physique (08 points)**

**Exercice 1 : (04 points)**

Le diagramme de phases binaire de l'alliage Ni-Be est présenté en figure 1

1. Indiquer toutes les réactions dans le diagramme et donner leurs coordonnées.
2. Quelle est la solubilité maximale de Be dans Ni et à quelle température ?
3. Deux alliages sont élaborés à partir de l'état liquide avec respectivement 4% Be et 15% Be (% en at.). Quelles sont les phases qui apparaissent/disparaissent lors du refroidissement lent de chacun de ces alliages jusqu'à la température ambiante ?
4. Pour un alliage contenant 30% de Be (% at.), Quelles sont les phases présentes à 1000°C ? Donner leur composition et leurs proportions relatives à cette température.
5. Un alliage de composition eutectique acquiert une structure lamellaire lors de son passage à l'état solide. Cette information est-elle accessible grâce au diagramme d'équilibre ?

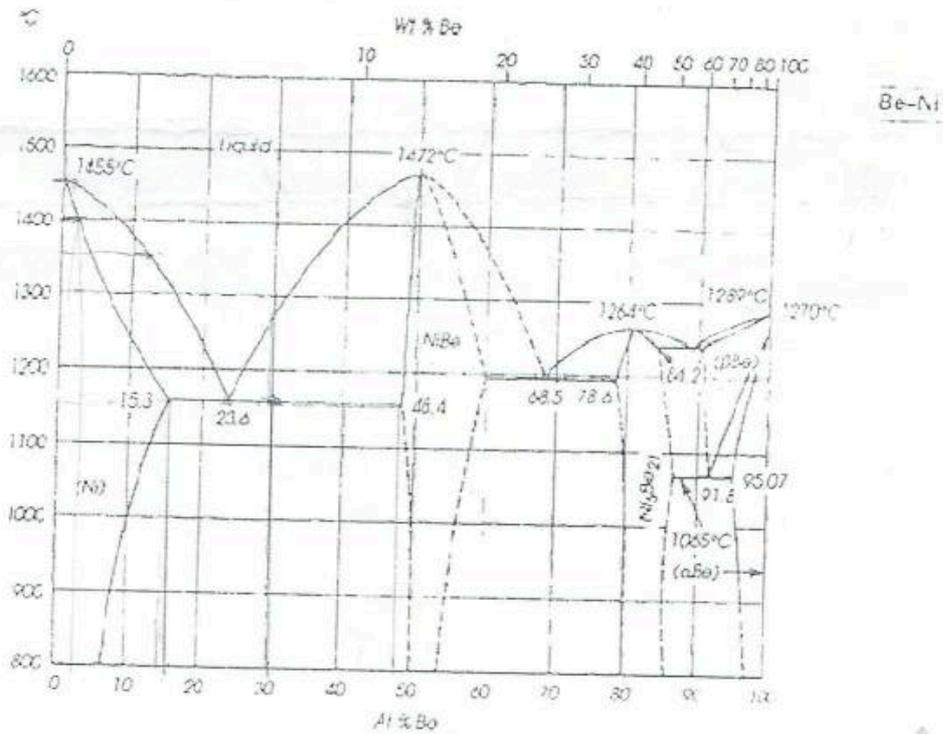


Figure 1