

# Concours blanc 2016 – Épreuve de Physique-Chimie corrigé

## 1 Un matériau pour la fabrication de miroirs de télescope : le carbure de silicium

### 1.1 Structure de la matière

- Règles de remplissage :
  - règle de Pauli : deux électrons ne peuvent avoir leurs quatre nombres quantiques identiques
  - règle de Hund : les électrons se répartissent dans les cases quantiques avant de s'apparier
  - règle de Klechkowski : Le remplissage s'effectue selon des valeurs croissantes de  $(n + l)$ , en cas d'égalité on remplit d'abord le plus petit  $n$ .
- Carbone :  $Z_C = 6 : 1s^2 2s^2 2p^2$
- Le silicium est juste en dessous du carbone donc sa configuration électronique finit en  $3p^2$ . Sa configuration électronique est  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$  donc son numéro atomique est  $Z_{Si} = 14$
- Les deux atomes ont le même nombre d'électrons de valence (4) : ils auront des propriétés chimiques similaires.

### 1.2 Structure cristalline du $\beta$ -SiC

- Dans la maille, il y a :
  - 4 atomes de carbone ;
  - $8 \times (1/8) + 6 \times (1/2) = 4$  atomes de silicium.

Il y a donc autant d'atomes de carbone que de silicium dans la maille : on pourra prendre la formule SiC pour le carbure de silicium.

### 1.3 Formation de SiC par CVD

- Quotient de la réaction :  $Q_r = \frac{(P_{HCl}/P^\circ)^3}{P_{CH_3SiCl_3}/P^\circ} = \frac{P_{HCl}^3}{P^{\circ 2} P_{CH_3SiCl_3}}$
- Tableau d'avancement :

	$CH_3SiCl_3(g)$	$SiC(s)$	$HCl(g)$	$n_{totgaz}$
E.I	$n$	0	0	$n$
E(t)	$n(1 - \alpha)$	$n\alpha$	$3n\alpha$	$n(1 + 2\alpha)$

- À l'équilibre on a  $K = Q_r = \frac{P_{HCl}^3}{P^{\circ 2} P_{CH_3SiCl_3}}$  où la pression partielle  $P_i$  d'une espèce gazeuse est donnée par  $P_i = x_i P_{tot} = x_i P^\circ$ . Avec  $x_i = n_i / n_{totgaz}$ . On en déduit que  $K = \frac{27\alpha_q^3}{(1+2\alpha_q)^2(1-\alpha_q)}$ , dont la résolution numérique donne  $\alpha_q = 0.80$ .
- Le temps de demi-réaction correspond au temps au bout duquel la quantité de matière est divisée par 2.

$n$ (mol)	0.10	0.20	0.30
$\tau_{1/2}$ (min)	21	21	21

Le temps de demi-réaction est indépendant de la quantité de matière initiale : la réaction est d'ordre 1.

- Comme la réaction est d'ordre 1 la vitesse de réaction est  $v(t) = k[MTS]$  Donc la concentration de MTS vérifie l'équation différentielle  $k[MTS] = -\frac{d[MTS]}{dt}$ .
- En résolvant l'équation différentielle précédente, on trouve :

$$[MTS](t) = [MTS]_0 e^{-kt}$$

- Le temps  $\tau_{3/4}$  de 3/4 de réaction est atteint lorsque  $[MTS](\tau_{3/4}) = [MTS]_0/4$  d'où  $\tau_{3/4} = \frac{\ln(4)}{k} = \frac{2 \ln(2)}{k}$
- On a  $\tau_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$  donc  $\tau_{3/4}/\tau_{1/2} = 2$ . Cela est vérifié sur les courbes où l'on trouve que  $\tau_{3/4}$  est d'environ 42 minutes.
- On écrit la loi d'ARRHENIUS aux températures  $T_2$  et  $T_3$  :

$$- \text{à } T_2 : k(T_2) = A \exp(-E_a/RT_2)$$

$$- \text{à } T_3 : k(T_3) = A \exp(-E_a/RT_3)$$

Or  $\tau_{1/2}(T_3) = \tau_{1/2}(T_2)/20 = \ln(2)/(20k(T_2))$  donc  $k(T_3) = 20k(T_2)$ . D'où

$$E_a = \frac{\ln(20)R}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_3}} = 388 \text{ kJ mol}^{-1}$$

## 2 Éléments optiques de la chaîne d'acquisition d'images

15. (a) L'angle maximal correspond à la distance Terre – Jupiter la plus petite soit  $d = R_J - R_T$  d'où, en faisant l'approximation des petits angles,  $\alpha_0 = d_J/(R_J - R_T) = 2,2 \times 10^{-4} \text{ rad} = 45''$

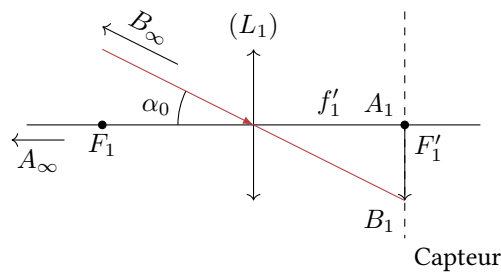
(b) Vus de la Terre, le Soleil et Jupiter se trouvent dans des directions opposées.

16. La troisième loi de Kepler nous permet de calculer la période de révolution de Jupiter :  $T_J^2 = \frac{T_T^2}{R_J^3} R_J^3$  d'où  $T_J = T_T \left( \frac{R_J}{R_T} \right)^{3/2} = 4330 \text{ jours}$ .

Notons  $\omega_T = \frac{2\pi}{T_T}$  et  $\omega_J = \frac{2\pi}{T_J}$  les vitesses de rotations de la Terre et de Jupiter autour du Soleil. La vitesse de rotation relative entre les deux est  $\omega = \omega_T - \omega_J$ , et le temps qui sépare deux oppositions de Jupiter est  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  donc

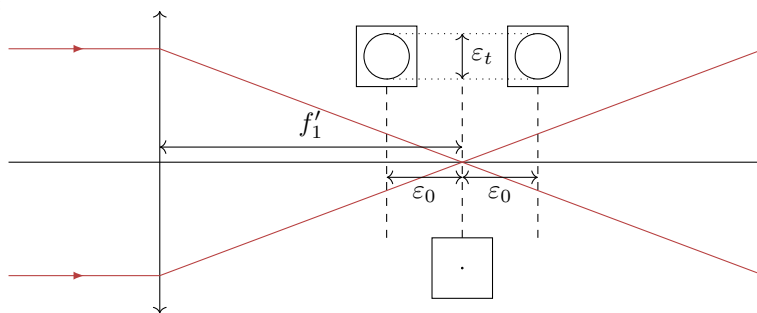
$$T = \frac{2\pi}{\frac{2\pi}{T_T} - \frac{2\pi}{T_J}} = \frac{1}{\frac{1}{T_T} - \frac{1}{T_J}} = \frac{T_T T_J}{T_J - T_T} \simeq 400 \text{ jours}$$

17. On a  $S = h_c l_c$  et  $d_c^2 = l_c^2 + h_c^2$ . En résolvant ces deux équations avec  $h_c < l_c$  on trouve  $h_c \simeq 2,69 \text{ mm}$  et  $l_c \simeq 3,59 \text{ mm}$ . La surface  $\varepsilon_c^2$  d'un pixel est  $S_c/N$  d'où  $\varepsilon_c \simeq 5,6 \mu\text{m}$ .
18. La distance Terre – Jupiter la plus petite est  $R_J - R_T \simeq 630 \times 10^6 \text{ km} \gg f' = 2,3 \text{ m}$  donc on pourra bien considérer Jupiter à l'infini.
19. Schéma :



20. L'image d'un objet à l'infini se trouve dans le plan focal image de la lentille soit à la distance focale  $f'_1 = 2350 \text{ mm}$ . L'image a une largeur  $L = \alpha_0 f'_1$  soit  $L/\varepsilon_c = 102 \text{ pixels}$ .

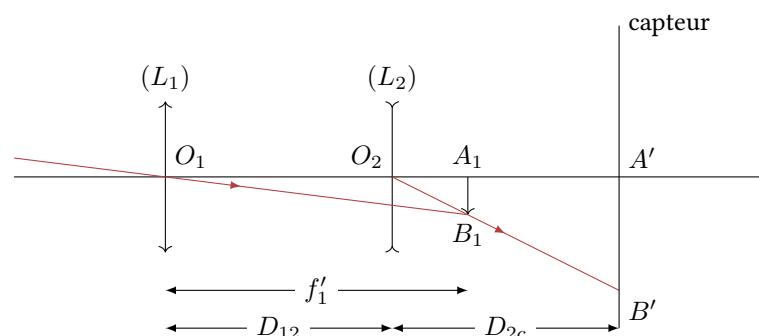
21. Schéma :



Quel que soit le sens de décalage, l'image d'un point est une tache de largeur  $\varepsilon_t = \varepsilon_0 \frac{d_1}{f'_1}$  (Théorème de Thalès).

22. Cette non-ponctualité ne se remarque pas si  $\varepsilon_t < \varepsilon_c$  donc si  $\varepsilon_0 < \varepsilon_c \frac{f'_1}{d_1} = \varepsilon_{0\max} = 56 \mu\text{m} = 10 \text{ pixels}$

23. Schéma :



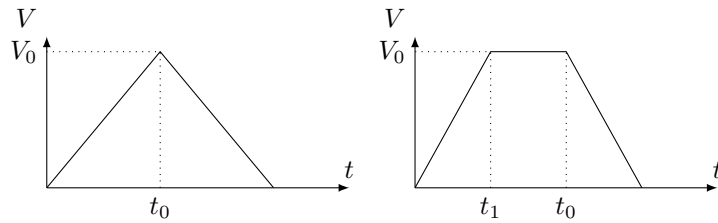
24. D'après le théorème de Talès, on a  $D_{2c} = 3O_2A_1$  d'où  $D_{12} = f'_1 - O_2A_1 = 2350 - 200/3 = 2283$  mm.  
La relation de Descartes permet de déterminer  $f'_2 : \frac{1}{D_{2c}} - \frac{1}{O_2A_1} = \frac{1}{f'_2}$  d'où  $f'_2 = -100$  mm. ( $f'_2$  est négative car c'est une lentille divergente)
25. Avec une lentille convergente de distance focale équivalente  $f$ , l'image de Jupiter est de largeur  $L = \alpha_0 f'$  : L'image sera trois fois plus grande si la distance focale est trois fois plus grande d'où le terme de *tripleur de focale*. L'encombrement est moindre avec deux lentilles.
26. La largeur angulaire de la tache centrale de diffraction pour une ouverture circulaire est  $\theta \simeq \frac{\lambda}{d_1}$  soit une largeur sur le capteur  $\varepsilon_d = 3\lambda \frac{f'_1}{d_1}$ . Pour une longueur d'onde moyenne de 500 nm,  $\varepsilon_d \simeq 15 \mu\text{m}$  soit environ 3 pixels. Comme la largeur de l'image est de 100 pixels, la diffraction affectera légèrement l'image.

### 3 Dispositif anti-buée

27. La capacité thermique de la lentille est  $C = mc$  avec  $m$  la masse de la lentille et  $m = \rho V = \rho \pi r_1^2 e$ . On a finalement  $C = \rho \pi r_1^2 e c \simeq 781 \text{ J K}^{-1}$
28. Le premier principe de la thermodynamique est  $\Delta U = W + Q$ . Ici on a  $W = 0$  et  $Q = 0.1 P_e \Delta t = P_e(t - t_0)$  et  $\Delta U = C \Delta T = C(T - T_0)$ . Donc finalement on obtient  $T = T_0 + 0.1 P_e t / C$ .
29. Ce résultat est clairement en contradiction avec la réalité car il prévoit une température qui augmente indéfiniment.
30. Maintenant la lentille perd une énergie thermique proportionnelle à la différence de température avec celle de l'air extérieur. Plus la température de la lentille est élevée, plus les pertes sont importantes. Il arrivera donc un moment où les pertes compenseront l'énergie reçue et la température se stabilisera.
31. Vu la formule  $P_a = hS(T - T_0)$  on en déduit que  $h$  est en  $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$ .
32. La température d'équilibre est atteinte lorsque les pertes compensent exactement l'énergie reçue par la lentille. Soit  $P_a = 0.1 P_e = hS(T - T_0)$ . Donc  $P_e = 10 \times 2h\pi r_1^2(T - T_0) \simeq 8,7 \text{ W}$ .
33. D'après la question 28 on a  $T = T_0 + 0.1 P_e t / C$ . Donc le temps mis pour atteindre la température d'équilibre est de l'ordre de  $t = 10C(T - T_0) / P_e = 1800 \text{ s} = 30 \text{ min}$
34. L'énergie totale contenue dans la batterie est  $E = U_{it} = 8,6 \times 10^5 \text{ J}$ . Si la batterie sert uniquement à alimenter la résistance chauffante de puissance  $P_e$  on dispose d'un temps de fonctionnement  $t_r = E / P_e \simeq 1,0 \times 10^5 \text{ s} \simeq 28 \text{ h}$ .
35. La batterie peut fonctionner pendant  $t_m = 15$  heures en alimentant uniquement le moteur, on peut calculer la puissance du moteur :  $P_m = E / t_m = 16,0 \text{ W}$ . Si les deux systèmes fonctionnent en même temps, la puissance totale consommée est  $P = P_m + P_e = 24,7 \text{ W}$  et le temps de fonctionnement est  $t_f \simeq 3,50 \times 10^4 \text{ s} \simeq 10 \text{ h}$

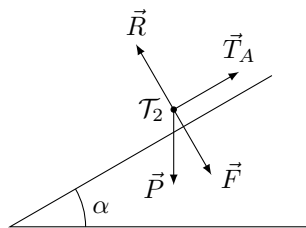
### 4 Modélisation mécanique du porte oculaire

36.  $\vec{V}_{A \in \mathcal{T}} = \omega a \vec{e}_x$
37. On applique le PFD à l'ensemble molette+tige on a  $\vec{F} + \vec{R}_{\mathcal{T}_2 \rightarrow \mathcal{T}} = \vec{0}$ . Or  $\vec{N}_A = -\vec{R}_{\mathcal{T}_2 \rightarrow \mathcal{T}}$  d'où  $\vec{N}_A = \vec{F}$ .  
Comme il y a glissement,  $T_A = f N_A$  et on peut écrire  $\vec{T}_A = f F \vec{e}_x$
38. Les forces appliquées sur l'ensemble  $\mathcal{T}_2$  sont :  
 – Son poids  $\vec{P} = M \vec{g}$ ;  
 – L'action de la tige  $\mathcal{T} : \vec{M} = \vec{N}_A + \vec{T}_A$ ;  
 – L'action des supports supposés sans frottement, normale à  $\mathcal{T}_2 : \vec{R}$
- En appliquant le PFD projeté sur l'axe  $\vec{e}_x$  on obtient :  $M \frac{dV}{dt} = T_A$ .
- Si  $V < \omega a$ , il y a glissement :  
 $M \frac{dV}{dt} = fF$  d'où  $V = \frac{fFt}{M}$  ou  $\vec{V} = \frac{fFt}{M} \vec{e}_x$  (Avec  $V(0) = 0$ )  
 Cette phase dure jusqu'à  $t = t_1$  tel que  $V = \omega a = V_1$  soit  $t_1 = \frac{M\omega a}{fF}$
- Lorsque  $V = \omega a$  alors  $T_A = 0$  et  $V = \text{cste} = V_1$  d'où  $\vec{V}_1 = \omega a \vec{e}_x$ .
39. La tige atteint la vitesse  $V_0$  lorsque  $t = t_0 = \frac{MV_0}{fF}$ . Lorsque la molette s'arrête, le sens de la force de frottement s'inverse et la vitesse décroît linéairement jusqu'à devenir nulle. Cette phase dure le même temps que précédemment,  $t_{\text{arrêt}} = t_0$ . Les évolutions de vitesses étant symétriques, il est évident que les distances parcourues lors des étapes de mise en mouvement et de freinage sont identiques et valent  $d = \frac{1}{2} \frac{fF}{M} t_0^2 = \frac{MV_0^2}{2fF}$ .
40. Pour une force  $F$  donnée, la vitesse  $V_0$  atteinte par  $\mathcal{T}_2$  dépend de la distance à parcourir.  
 – Si  $V_0 < V_1$ , il n'y aura que deux phases : augmentation de vitesse puis freinage ;  
 – si  $V_0 > V_1$ , il y aura trois phases : augmentation de vitesse, vitesse constante puis freinage.



Lorsqu'on choisit une force  $F$  élevée, les temps de mise en mouvement et d'arrêt sont diminués. Ça permet de parcourir des grandes distances plus rapidement, par contre on perd en précision de mise au point.

41. On a vu à la question 39 que la distance parcourue lors des étapes de mise en mouvement et d'arrêt est  $d = \frac{1}{2} \frac{fF}{M} t_0^2$  donc la distance totale parcourue est  $d_t = \frac{fF}{M} t_0^2$  et ne dépend que du temps de rotation de la molette et pas de l'amplitude de rotation. Donc une rotation très brève de la molette peut produire un déplacement très faible et permettre une mise au point précise. Dans un système à crémaillère, pour faire un réglage précis, il faut faire tourner très peu la molette, ce qui en pratique plus compliqué à maîtriser.
42. Le 29 octobre 2011, l'élévation angulaire de Jupiter est de l'ordre de  $58^\circ$ . Dans ces conditions, la tige  $\mathcal{T}_2$  reste fixe si elle ne glisse pas.



En projetant les forces sur l'axe de  $\mathcal{T}_2$  on a  $Mg \sin \alpha \simeq 11 \text{ N}$  et  $T_A = fF = 0,4 \text{ N}$ . Donc la force de frottement est largement insuffisante pour maintenir l'ensemble  $\mathcal{T}_2$  en position.