

DS SCIENCES PHYSIQUES N°7 Niv 1 .
CHIMIE :

Le nitrure de bore (BN) peut être obtenu après traitement thermique d'un précurseur nommé le polyborazylène, obtenu par polymérisation d'un monomère cyclique, la borazine.

Le nitrure de bore peut cristalliser selon une structure de type blende : les atomes de bore décrivent une structure CFC dont la moitié des sites tétraédriques sont occupés par les atomes d'azote.

- Q1- Donner le nombre d'électrons de valence des éléments bore, azote et hydrogène.
 Q2- Quel est du bore ou de l'azote l'élément le plus électronégatif ? Justifier votre réponse.
 Q3- Dessiner la maille du nitrure de bore (les atomes de bore seront représentés par un disque et ceux d'azote par une croix). Quelle est la nature des liaisons entre les atomes ?
 Q4- Déterminer le nombre d'atomes par maille pour chaque élément .
 Q5- Calculer le paramètre de maille a associé à cette maille, sachant que les atomes de bore et d'azote sont en contact mais pas les atomes de bore entre eux.
 Q6- Déterminer la masse volumique ρ du nitrure de bore.

Données :

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

Masses molaires (en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) et rayons atomiques : $M(\text{H}) = 1$; $M(\text{B}) = 11$; $M(\text{N}) = 14$.
 $r(\text{B}) = 85 \text{ pm}$ $r(\text{N}) = 65 \text{ pm}$

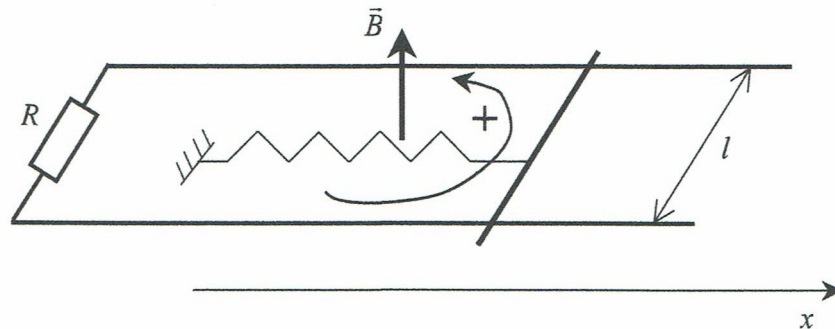
Classification périodique :

1 H																	2 He	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	
		119 Uue																
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Exercice induction : Oscillations d'une barre plongée dans un champ magnétique :

Une barre de masse m peut glisser sans frottements sur des rails parallèles, distants de l . Les deux rails et la barre forment un plan horizontal. Les seuls mouvements possibles de la barre sont des mouvements de translations rectilignes parallèlement à la direction des rails notée Ox . En $x=0$, les rails sont reliés par un conducteur. La résistance du circuit total est représentée par une résistance constante R localisée sur le conducteur reliant les deux rails. L'ensemble est plongé dans un champ uniforme et stationnaire $\vec{B} = B\vec{u}_x$. On définit un sens de circulation positive sur le circuit comme indiqué sur la figure. Si un courant parcourt le circuit, l'intensité sera comptée positivement si et seulement si le courant circule effectivement dans le sens positif choisi. On néglige entièrement les phénomènes d'auto-induction.

La barre est reliée à un ressort de raideur k . L'origine des abscisses est prise lorsque le ressort est au repos. A l'instant initial, l'abscisse de la barre est égale à a (avec $a > 0$) et la barre est lâchée sans vitesse initiale. La barre peut glisser sans frottement sur les rails.



- 1- Décrire qualitativement le problème .
- 2- Écrire l'équation électrique et l'équation mécanique. En déduire l'équation différentielle vérifiée par l'abscisse x de la barre. On posera: $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ et $\tau = \frac{mR}{B^2 l^2}$
- 3- Résoudre complètement cette équation si $\omega_0 \tau \gg 1$.
- 4- Faire un bilan de puissance. Justifier l'égalité suivante: $\int_0^{\infty} Ri^2 dt = \frac{1}{2} k a^2$

Problème :

PARTIE A : COMMUNICATIONS AVEC LA TERRE

D'après Sciences et Avenir, 12 septembre 2014 :

« Loin des yeux mais pas loin du cœur. La sonde Rosetta a beau naviguer dans l'espace à plus de 400 millions de kilomètres de la Terre, elle donne de ses nouvelles en permanence aux équipes de l'[agence spatiale européenne](#). "En ce moment, elle communique 24 heures sur 24 afin de transmettre toutes les données qu'elle recueille sur la comète 67P/Tchourioumov-Guérassimenko", précise Sylvain Lodirot, responsable ESA des opérations sur Rosetta.

Envoyées par ondes radio sur deux fréquences (proches de 8 GHz), les informations mettent aujourd'hui 20 minutes environ à nous parvenir et sont captées par plusieurs stations de l'ESA et de la NASA situées en Australie, en Espagne, en Argentine et aux Etats-Unis. »

I- PROPAGATION DANS LE VIDE

On se propose d'étudier la propagation des ondes électromagnétiques entre la sonde Rosetta et la Terre, dans le vide.

Données :

- $\text{rot}(\text{rot } \vec{E}) = \text{grad}(\text{div } \vec{E}) - \Delta \vec{E}$
- vitesse de la lumière dans le vide : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$

1- Rappeler les équations de Maxwell en présence de charges et de courants. Comment se simplifient elles dans le vide en l'absence de charges et courants ?

Dans les parties I et II , on se place dans le vide en l'absence de charges et courants .

2- Etablir l'équation de propagation dans le vide vérifiée par le champ électrique . Donner celle vérifiée par le champ magnétique .

3- En déduire la célérité des ondes électromagnétiques dans le vide, en fonction de ϵ_0

et μ_0 .

On considère une onde électromagnétique, pour laquelle le champ électrique en coordonnées cartésiennes s'écrit :

$$\vec{E} = E_x \cos\left(w\left(t - \frac{z}{c}\right)\right) \vec{e}_x + E_z \cos\left(w\left(t - \frac{z}{c}\right)\right) \vec{e}_z$$

4- Dans quelle direction se propage cette onde ? Exprimer son nombre d'onde k en fonction de w et c

5- Simplifier l'expression proposée du champ électrique, à l'aide de l'équation de Maxwell-Gauss. Comment peut-on qualifier cette onde .

6- Le champ magnétique associé s'écrit :

$$\vec{B} = B_x \cos\left(w\left(t - \frac{z}{c}\right)\right) \vec{e}_x + B_y \cos\left(w\left(t - \frac{z}{c}\right)\right) \vec{e}_y + B_z \cos\left(w\left(t - \frac{z}{c}\right)\right) \vec{e}_z . \text{ Déterminer les constantes } B_x , B_y \text{ et } B_z \text{ en fonction de } E_x \text{ et c.}$$

7- Cette onde est-elle transversale ou longitudinale ?

8-Exprimer le vecteur de Poynting associé à cette onde. Calculer sa valeur moyenne, rappeler sa signification physique et commenter sa direction.

9- Déterminer la valeur moyenne de la densité volumique d'énergie électromagnétique . En déduire la vitesse de l'énergie .

II- RÉCEPTION DU SIGNAL

1-Au moment du largage de Philae, le délai de communication entre Rosetta et la Terre est de 28 minutes et 20 secondes. Calculer la distance entre la Terre et la comète à cet instant.

Les deux canaux attribués à la sonde Rosetta pour communiquer avec la Terre sont $f_1 = 8421,79 \text{ MHz}$ et $f_2 = 8423,15 \text{ MHz}$.

Pour déterminer la vitesse relative v de la comète par rapport à la Terre (la comète se rapproche de la Terre), on mesure la fréquence f' du signal reçu, correspondant à la fréquence d'émission (on assimile la vitesse de la comète à celle de Rosetta).

2- On considère qu'à l'instant t_0 , la comète se situe à la distance L de la Terre. Le signal sinusoïdal émis est alors maximum. Déterminer l'instant t'_0 correspondant à l'arrivée de ce maximum sur la terre.

3- Exprimer, en fonction de t_0 et f , l'instant t_1 auquel sera émis le maximum suivant du signal. En déduire la distance L' qu'il lui faut parcourir pour atteindre la Terre, puis la date t'_1 correspondant à l'arrivée de ce second maximum sur Terre.

4- Déterminer la période T' qui sépare l'arrivée sur Terre des deux maximums successifs d'une sinusoïde de fréquence f émise par Rosetta. En déduire, au 1^{er} ordre en $\frac{v}{c}$,

$$f' = f \left(1 + \frac{v}{c}\right) .$$

5- Calculer numériquement la vitesse v de la comète sachant que $f'_1 = 8422,29 \text{ MHz}$, puis déterminer la fréquence f'_2 correspondant à un signal émis de fréquence f_2 .

III- PRISE EN COMPTE DE L'IONOSPHERE

Pour atteindre la surface de la Terre, les ondes électromagnétiques émises par Rosetta doivent traverser l'atmosphère. Celle-ci peut être assimilée au vide en ce qui concerne la propagation des ondes électromagnétiques, à l'exception d'une couche située entre 60 km et 800 km d'altitude : l'ionosphère.

Sous l'influence du rayonnement solaire, le gaz présent dans l'ionosphère se comporte comme un plasma, contenant des ions positifs (masse m_p et charge e) et des électrons (masse m_e et charge $-e$), avec une densité volumique n .

Les charges sont soumises à l'action de l'onde électromagnétique. Celle-ci est décrite par

$$\vec{E} = E_x e^{i(\omega t - kz)} \vec{e}_x$$

1- Exprimer la force de Lorentz qui s'exerce sur une charge q qui se déplace à la vitesse \vec{v} et préciser pourquoi il est possible de négliger la composante magnétique devant la composante électrique.

2- On note respectivement \vec{v}_p et \vec{v}_e les vitesses des ions positifs et des électrons. Appliquer le principe fondamental de la dynamique à chacun des porteurs de charge pour exprimer les grandeurs complexes \underline{v}_p et \underline{v}_e (le poids est négligé devant la force électrique).

3- En déduire la densité volumique de courant \vec{j} dans le plasma et indiquer pourquoi on peut simplifier son expression pour écrire : $\vec{j} = -i \frac{ne^2}{\omega m_e} \vec{E}$.

4- Ecrire l'équation de Maxwell-Ampère dans le plasma sous la forme

$$\text{rot } \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}\right) \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \text{ où } \omega_p \text{ est une constante à exprimer en fonction de } n, e, m_e \text{ et } \epsilon_0 .$$

5- Etablir l'équation de propagation alors vérifiée par le champ électrique. En déduire l'expression de k^2 , en fonction de c , w_p et w . Comment cette relation est-elle nommée ?

6- Que se passe-t-il pour $w < w_p$?

7- Pour $w > w_p$, exprimer la vitesse de phase v_ϕ et la vitesse de groupe v_g . Commenter.

8- Simplifier les deux expressions pour $w \gg w_p$. Commenter le choix des fréquences f_1 et f_2 pour assurer la communication entre Rosetta et la Terre, sachant que $w_p \approx 10^7 \text{ rad.s}^{-1}$ pour l'ionosphère terrestre.

Partie B : réflexion d'une onde sur une plaque métallique .

On considère une plaque métallique conductrice, de grandes dimensions considérées comme infinies suivant Ox et Oz, de conductivité γ , de perméabilité μ_0 et de permittivité ϵ_0 , occupant tout le demi-espace $y < 0$, comme le montre la figure 1 ci-dessous .

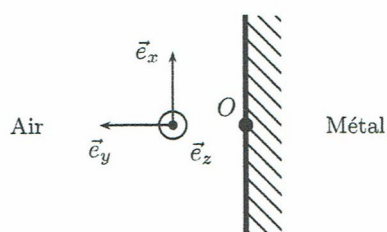


figure 1

On envoie une OPPH (onde plane progressive harmonique) incidente, notée (\vec{E}_i, \vec{B}_i) sur cette plaque métallique, le vecteur d'onde de l'onde incidente étant $\vec{k}_i = -k \vec{e}_y$ ($k > 0$). Le champ électrique associé à l'onde incidente a pour expression :

$$\vec{E}_i = E_0 \cos(\omega t + ky) \vec{e}_x \quad \text{soit en notation complexe} \quad \underline{\vec{E}}_i = E_0 e^{j(\omega t + ky)} \vec{e}_x$$

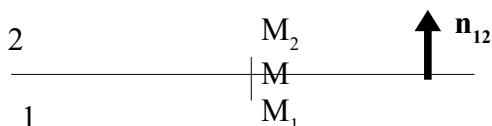
Le trièdre trirectangle Oxyz est direct, l'axe Oy est orienté vers la gauche.

Données :

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1}, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1} \quad \text{et} \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\text{rot}(\text{rot } \vec{A}) = \text{grad}(\text{div } \vec{A}) - \Delta \vec{A}$$

Relations de passage du champ électromagnétique de part et d'autre d'une surface chargée



$$\vec{E}(M_2) - \vec{E}(M_1) = \frac{\sigma(M)}{\epsilon_0} \vec{n}_{12} \quad M_1 \text{ et } M_2 \text{ étant deux points infiniment voisins de } M$$

respectivement situés dans les milieux 1 et 2 et $\sigma(M)$ la densité surfacique de charge au point M .

I- Réflexion sur un plan conducteur parfait :

Dans toute cette partie I, la conductivité γ est supposée infinie ; le métal est alors considéré comme un conducteur parfait.

1- Décrire l'onde incidente . Etablir l'expression de k en fonction de ω et c . Quelle est l'expression du champ magnétique incident \vec{B}_i ?

On cherche une onde réfléchie sous la forme d'une OPPH, de polarisation rectiligne, notée (\vec{E}_r, \vec{B}_r) et de vecteur d'onde \vec{k}_r . En surface du métal ($y=0$) règnent une densité surfacique de charges σ .

2- Que valent les champs électrique et magnétique dans le métal (justifier)? Quelle est la relation de passage relative au champ électrique en $y = 0$? Quelle composante du champ électrique est toujours continue à la traversée d'une surface ?

3- On travaille en notation complexe dans cette question et dans la suivante . On cherche l'onde réfléchie sous la forme d'une onde plane de champ électrique $\vec{E}_r = \vec{E}_{0r} e^{j(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{r})}$ avec $\vec{E}_{0r} = (E_{0rx}, E_{0ry}, E_{0rz})$

a- Quelle est l'expression du vecteur d'onde de l'onde réfléchie ?

b- Déterminer en justifiant votre raisonnement le vecteur \vec{E}_{0r} .

c- Déterminer le champ électrique et le champ magnétique complexes de l'onde réfléchie . Que vaut le champ électromagnétique total réel $(\vec{E}_{tot}, \vec{B}_{tot})$ résultant de la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie ? Quelle est sa particularité ?

4- Quelle puissance moyenne $\langle P_i \rangle$ apportée par l'onde incidente traverse une surface S orthogonale à la direction de propagation? Même question pour l'onde réfléchie . Commenter.

5- On place en $y = a$, un second plan métallique parfait . Montrer que l'onde obtenue à la question 3-c- pourra exister entre les deux plans à condition que sa fréquence ait des valeurs particulières que l'on déterminera .

II- Cas d'un métal non parfait :

En réalité le métal de la plaque de la figure 1 a une conductivité γ qui n'est pas infinie ce qui permet au champ électromagnétique de pénétrer dans le métal ; il sera noté (\vec{E}_t, \vec{B}_t) .

Le courant surfacique est alors nul ; dans le métal règnent une densité de courant \vec{j} et une densité de charge $\rho = 0$.

Donnée numérique : $\gamma = 10^7 \text{ S.m}^{-1}$.

1- On néglige les courants de déplacement devant les courants de conduction . Ecrire les équations de Maxwell dans le métal, en déduire l'équation d'onde dans le métal .

2- On cherche une onde dont le champ électrique s'écrit, en notation complexe, $\vec{E}_t = E_0 e^{j(\omega t + k_t y)} \vec{e}_x$. Déterminer l'expression de k_t . En déduire l'expression, en notation

réelle, de \vec{E}_t . On posera $\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \gamma \omega}}$

3- Quelle est la dimension de δ ? Que représente cette grandeur ? Application numérique.

4- Décrire le principe du contrôle non destructif pour détecter des défauts de fabrication dans une pièce . A quel type de pièces s'applique cette technique de contrôle ?