European Union Science Olympiad

Olympiades académiques 2019

Épreuve de présélection

QCM de Physique – Sujet zéro

Durée de l'épreuve : 1h

NOTES IMPORTANTES

→ Les candidats sont totalement responsables de la gestion du temps, de l'organisation de leur travail.

→ Une fois une réponse validée, ils ne pourront plus revenir sur la question précédente.

→ Pour les questions à choix multiples, plusieurs réponses peuvent être possibles et seule la totalité des réponses justes cochées sera comptabilisée.

→ Aucun document n'est autorisé.

→ Seule la calculatrice de l'ordinateur est autorisée.

1 - Signaux périodiques

Un bateau souhaite mesurer la profondeur de l'océan sur lequel il navigue. Pour cela il utilise des ondes acoustiques. Le principe est simple : une impulsion sonore est émise depuis le navire en direction du fond, sur lequel elle se réfléchit et revient vers la surface : on enregistre son 'écho' et on mesure le temps que met le signal à revenir. Un récepteur est placé sur l'axe d'émission, à coté de l'émetteur. Le signal émis est visualisé sur la voie 1 (en bleu) de l'oscilloscope, et le signal reçu par le récepteur est visualisé sur la voie 2 (en rouge). La sensibilité horizontale du balayage est de 0,45 ms par division.

Matériau	Air	Eau	verre	Acier
Vitesse de propagation du son et des ultrasons à 20 °C (en m/s)	340	1480	5300	5900

1. La fréquence du signal utilisé vaut :

On compte 10 périodes pour une division : 10 T = 0,45 ms

Donc T = 0,045 ms = $4{,}5 \times 10^{-5}\ s$

donc $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4{,}5 \times 10^{-5}} = 2{,}2 \times 10^{4}\ Hz$

2. L'onde acoustique utilisée:

L'oreille humaine est capable d'entendre les sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 000 Hz.

Ici f > 20 000 Hz → ce sont des ultrasons qui sont utilisés et ils ne sont pas audibles pour les humains.

3. La profondeur de d'eau sondée sous le bateau :

4,2 divisions séparent l'émission du signa et sa réception

or 4,2 div = 4,2 x 0,45 = 1,89 ms = Δt

la distance parcourue par l'onde ultrasonore dans l'eau est donc :

$$D = v \times \Delta t = 1480 \times 1{,}89 \times 10^{-3} = 2{,}80\ m$$

Or l'onde à fait le trajet aller + retour pour revenir au bateau, la profondeur d'eau h sous le bateau vaut donc :

$$h = \frac{D}{2} = 1{,}40\ m$$

2 – Un problème lumineux

On rappelle que la deuxième loi de Descartes, qui relie les angles d'incidence et de réfraction, est la suivante : $n_1 \times \sin(i) = n_2 \times \sin(r)$ pour le passage d'un rayon lumineux d'un milieu d'indice n_1 à un milieu d'indice n_2.

Le passage d'un rayon lumineux de l'air à une pierre précieuse est schématisé ci-contre :

On précise que l'indice de réfraction de l'air vaut : n = 1

Indices de réfraction de plusieurs pierres précieuses :

Pierre précieuse	Indice de réfraction
Hématite	3,00
Diamant	2,41
Sphalérite	2,36
Zircon	1,85
Agate	1,54

La relation liant l'indice de réfraction d'un milieu à la vitesse de l'onde dans ce milieu est la suivante :

$$n = \frac{c}{v}$$

1. Cocher les propositions vraies :

✓ L'indice de réfraction d'un milieu est toujours supérieur à 1.
La vitesse de la lumière dans n'importe quel milieu est inférieure à celle de la lumière dans le vide donc $n = \frac{c}{v} > 1$

2. La pierre précieuse utilisée est :

Angle d'incidence : 30° et angle de réfraction : 19°

$$n_{air} \times \sin(i) = n_{pierre} \times \sin(r)$$

$$n_{pierre} = \frac{n_{air} \times \sin(i)}{\sin(r)}$$

$$n_{pierre} = \frac{1 \times \sin(30)}{\sin(19)} = 1{,}54$$

La pierre est donc une agate.

3. La vitesse de la lumière dans un diamant vaut :

$n = \frac{c}{v}$ donc $v = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{2{,}41} = 1{,}24 \times 10^8\ m/s$

et il faut multiplier ce résultat par 3,6 pour obtenir le résultat en km/h

donc $v = 4{,}48 \times 10^8\ km/h$

3 – La mécanique du gecko

Certains animaux et notamment les geckos, qui ont une masse moyenne de 200 grammes, peuvent se promener au plafond sans problème.

Document : Extrait du livre nanomonde (CNRS editions)

« Leurs pattes sont tapissées de poils microscopiques. Lorsque le gecko se déplace, il appuie ses pattes sur la surface de sorte que les spatules, si petites peuvent s'en approcher de très près. […] Leurs atomes s'attirent alors sous l'effet de forces interatomiques appelées forces de Van der Waals. Individuellement ces forces sont très faibles mais il y a tant de poils garnis de tant de sétules, que l'attraction est suffisante pour soutenir le gecko, parfois avec une seule de ses pattes ! »

Surface d'une patte de gecko :

La surface d'une patte (orteils + voute plantaire) de gecko est d'environ 220 mm^2. On dénombre 14 400 sétules par mm^2.

Force de Wan der Waals :

On sait que le gecko adhère aux murs par des forces de Van der Waals. Or, l'expression des forces de Van der Waals entre deux surfaces planes est la suivante :

$$F_{sétule} = \frac{C}{6\,D^3}$$

avec :

D la distance entre les deux plans :

$$D = 3 \times 10^{-10}\ m$$

et C une constante caractéristique :

$$C = 3{,}24 \times 10^{-32}\ N.m$$

1. Cocher les propositions vraies :

   aucune des propositions n'est vraie

2. Pour qu'il ne tombe pas l'intensité des forces de Van der Waals doit être :

   200 g = 0,200 kg

   Le poids du gecko est : p = m x g = 0,200 x 9,81 = 1,96 N

   L'intensité des forces de Van der Waals doit être au minimum de 1,96 N pour compenser le poids et éviter que le gecko ne tombe

3. La résultante totale F des forces de Van der Waals exercée par une patte :

   Sur une patte :

   14400 sétules/mm^2 x 220 mm^2 = $3{,}17 \times 10^6$ sétules/patte

   $$F_{sétule} = \frac{3{,}24 \times 10^{-32}}{6 \times (3 \times 10^{-10})^3} = 2 \times 10^{-4}\ N$$

   Par conséquent l'ensemble des sétules de la patte peut créer une force $F_{patte} = F_{sétule} \times 3{,}17 \times 10^6 = 634\ N$

4. Si le gecko se maintient à l'aide d'une seule patte, quel pourcentage des sétules de la patte est nécessaire pour ne pas tomber :

   Il faut un force de 1,96 N pour empêcher le gecko de tomber

   Et l'ensemble de la patte est capable de créer une force de 634 N

   Par conséquent seuls $\frac{1{,}96}{634} = 0{,}0031$ soit 0,31 % des sétules de la pattes sont suffisantes pour lui permettre de marcher au plafond.

4 – Préparation de slime :

Plusieurs slime ont été préparés avec des solutions de concentration variable en borax. On a ensuite mesuré la viscosité η de chacun de ces slimes et la courbe suivante a été obtenue :

On remarque que la viscosité, notée η , est proportionnelle à la concentration en borax, notée C.

Règle de conversion : L'unité de viscosité : la poise

1 P = $0{,}1\ N.s.m^{-2}$

1. La constante de proportionnalité k reliant les deux grandeurs, telle que $\eta = k \times C$:

   Il faut déterminer le coefficient directeur de la droite

   On prend les deux points (0,02 ; 4000) et (0,1 ; 21500) et on trouve $k = \frac{210000 - 40000}{0{,}1 - 0{,}02} = 2{,}1 \times 10^6$

2. Quelle serait la viscosité en cP d'un slime fabriqué à partir d'une solution de borax de concentration C = 35 mmol/L :

   C = 35 mmol/L = 0,035 mol/L

   Par lecture graphique : $\eta = 70\ 000\ cP$

   1 P = $0{,}1\ N.s.m^{-2}$

   donc 1 cP = $0{,}001\ N.s.m^{-2}$

   Finalement $\eta = 70\ N.s.m^{-2}$

5 – Régulateur de vitesse :

Les dispositifs de mesure de vitesse utilisent généralement des ondes électromagnétiques. Ils se composent d'un émetteur, qui génère une onde de fréquence f_0 = 24,125 GHz, et d'un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la « cible » dont la vitesse doit être déterminée. L'appareil produit alors un signal périodique dont la fréquence, appelée « *fréquence Doppler* », est proportionnelle à la vitesse de la cible.

$$f_D = \frac{2 \times f_0 \times v_r}{c}$$

avec :

f_D : fréquence Doppler ; v_r : vitesse relative de la cible par rapport à l'émetteur

f_0 : fréquence de l'émetteur ; c : vitesse de la lumière dans le vide : c = 3,00 × 10^8 m.s^{-1}

- 1 GHz = 10^9 Hz

Une voiture utilisant son régulateur de vitesse afin de conserver une vitesse constant passe 3 fois devant un radar qui enregistre dans les mêmes conditions une fréquence Doppler f_D lors du passage de la voiture. On donne le tableau des mesures du radar :

v_1	v_2	v_3
3 140 Hz	3 086 Hz	3 235 Hz

L'écart type d'une série de mesures :

L'écart type d'une série de valeurs se calcule de la façon suivante : Si on dispose de 3 valeurs x_1, x_2 and x_3, ainsi que de la valeur moyenne x_m. L'écart-type σ est calculée par la formule suivante:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_m - x_1)^2 + (x_m - x_2)^2 + (x_m - x_3)^2}{3}}$$

1. Lors du premier passage de la voiture devant le radar, la voiture roulait à :

$f_D = \frac{2 \times f_0 \times v_r}{c}$ donc $v_r = \frac{f_D \times c}{2 \times f_0}$

$v_r = \frac{3140 \times 3 \times 10^8}{2 \times 24{,}125 \times 10^9}$ = 19,5 m/s = 70 km/h

2. Déterminer l'écart type sur la série de mesures de fréquences Doppler :

$$\sigma = 61{,}6\ Hz$$

3. Une tolérance de 5 km/h est appliquée par les radars. En considérant l'écart relatif précédent, le régulateur de vitesse est-il satisfaisant ? :

L'écart tupe de la série de mesures est de 61,6 Hz ce qui correspond à une erreur type sur la vitesse de :

$$v_r = \frac{f_D \times c}{2 \times f_0} = \frac{61{,}6 \times 3 \times 10^8}{2 \times 24{,}125 \times 10^9} = 0{,}38\ m/s$$

Soit une erreur type de 1,38 km/h ce qui est satisfaisant au vu des 5 km/h d'écart autorisés.

6 – Un peu d'électricité :

On considère le montage électrique suivant :

1. La valeur de l'intensité (I1) du courant qui traverse le récepteur R1 vaut :

   Loi des nœuds : It = I1 + I2

   Donc I1 = It – I2 = 8 – 4,8 = 3,2 A

2. La valeur de la résistance R2 vaut :

   Loi d'Ohm : $U_2 = R_2 \times I_2$

   Donc $R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{250}{4,8} = 52\ \Omega$

3. La valeur de la puissance du récepteur 2 (P2) vaut :

   Calcul de la puissance P2 = U2 x I2 = 250 x 4,8 = 1200 W

   P2 = 1,2 kW

4. Quelle est l'énergie consommée par le récepteur N°2 en un jour ?

   E2 = P2 x Δt

   Δt = 1 jour = 24 x 3600 s = 86 400 s

   E2 = 1200 x 86400 = 103 700 000 J = 103,7 MJ