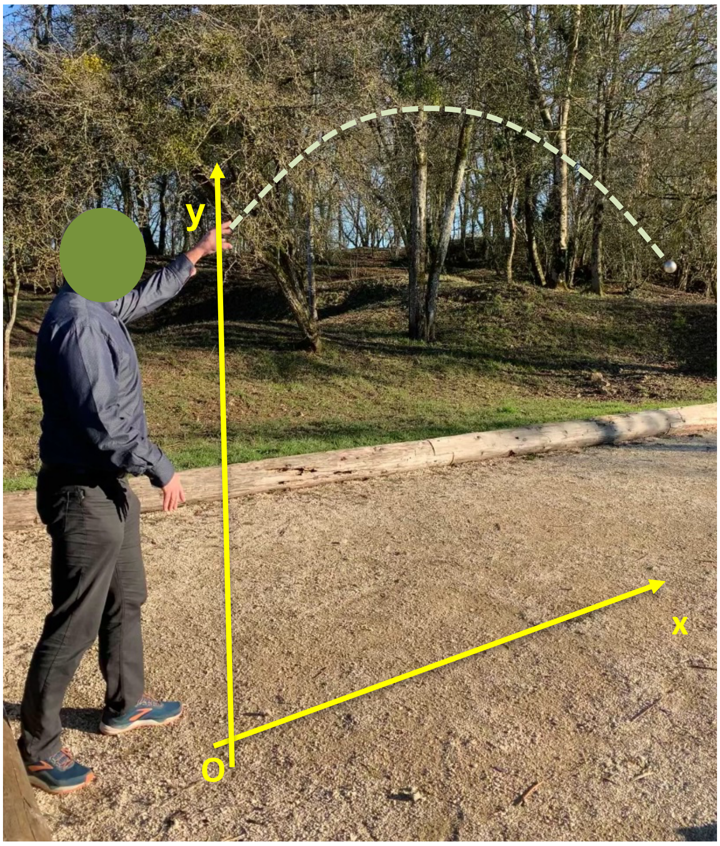
LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Éducation nationale,
de l'Enfance et de la Jeunesse

EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES CLASSIQUES 2021

BRANCHE	SECTION(S)	ÉPREUVE ÉCRITE
Physique	**B, C**	*Durée de l'épreuve :* *Date de l'épreuve :*

1) Pétanque (8+3+5=16 points)

Le but du jeu de pétanque est d'approcher une petite boule en bois avec une boule en acier.



La boule est lancée avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ inclinée vers le haut sous un angle α par rapport à l'horizontale et le point de lancement se trouve à une hauteur h au-dessus du sol. Les frottements sont négligeables et les boules sont assimilées à des objets ponctuels.

a) En tenant compte des conditions de départ illustrées sur la photo :
- Indiquer sur votre feuille le repère, la trajectoire, les conditions initiales et la force appliquée sur la boule pendant le vol. (2)
- Établir les équations horaires du mouvement et l'équation cartésienne de la boule. (5)
- Montrer comment les équations $v_x(t)$, $v_y(t)$, $x(t)$ et $y(t)$ se simplifient si $\alpha = 0°$. (1)

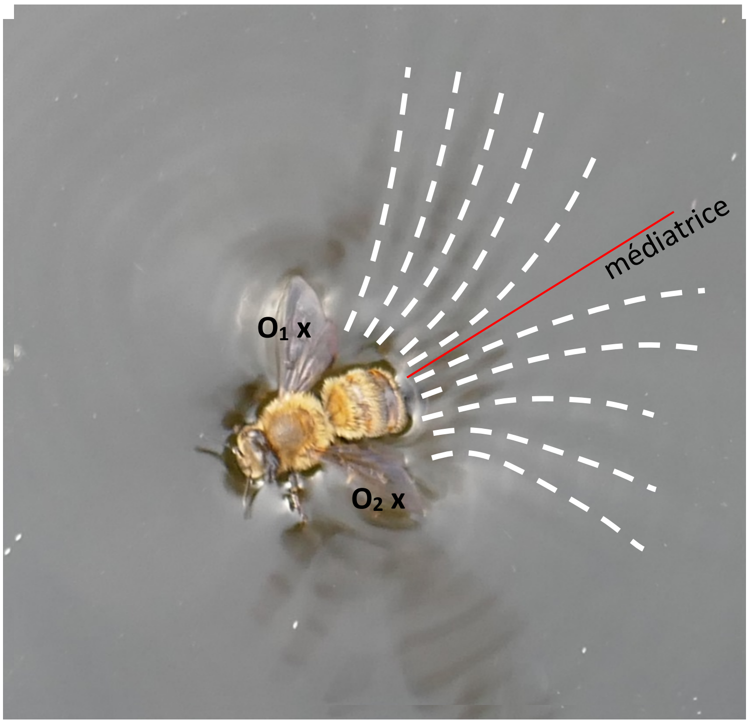
Rem : Pour les deux lancers qui suivent on notera les vitesses initiales v_1 et v_2 (au lieu de v_0).

b) Lors du 1^er^ lancer, le tireur est debout et lance la boule à partir d'une hauteur initiale $h_1 = 1{,}7$ m sous un angle $\alpha_1 = 55°$ par rapport à l'horizontale. Soit $d = 6$ m la distance horizontale entre l'origine et le point d'impact sur le sol.
- Déterminer la vitesse initiale v_1. (3)

c) Le joueur suivant s'accroupit et tire de façon horizontale (donc $\alpha_2 = 0°$), d'une hauteur $h_2 = 0{,}6$ m avec une vitesse initiale $v_2 = 6\ \frac{m}{s}$. Calculer pour le point d'impact
- la durée du vol t, (2)
- l'abscisse x, (1)
- la norme v et l'angle β par rapport au sol du vecteur vitesse juste avant l'impact. (2)

2) Interférences à 2 dimensions (4+4+3+4=15 points)

Une abeille cherchant à s'abreuver est tombée dans un petit étang. Avant de la sauver, l'apiculteur fait une photo car il observe un phénomène intéressant : les ailes de l'abeille qui tente de s'envoler tapent dans l'eau et créent des ondes circulaires qui se propagent en surface.



Pour modéliser la situation, on suppose que les ailes correspondent à deux sources ponctuelles synchrones en O_1 et O_2.
Soit $y_{O1}(t)=y_{O2}(t)=A\cdot\sin(\omega t)$ l'équation horaire de l'élongation verticale des sources. On suppose que la propagation des ondes se fait sans atténuation avec une amplitude A constante.

Pour les questions a) b) on considère uniquement l'onde qui part de la 1ère aile en O_1.

a) Établir l'équation de l'onde partant de la source en O_1 vers un point M situé à la distance d_1 de O_1. Inclure les périodes temporelle T et spatiale λ. (4)

b) On sait que la célérité de l'onde à la surface de l'eau vaut $c = 0{,}24\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, que l'amplitude vaut A = 0,8 mm et que la longueur d'onde observée vaut λ = 2 mm.
   - En déduire la fréquence f des battements d'ailes. (1)
   - Écrire l'équation horaire numérique de l'élongation $y_{1M}(t)$ du point M situé à $d_1 = 1{,}5$ cm de O_1 sous l'effet de la seule onde issue de O_1. (2)
   - Calculer la vitesse de vibration maximale qui en résulte pour le point M. (1)

À présent, on considère les effets qui résultent de la superposition des deux ondes.

c) Définir ce qu'on entend par différence de marche des deux ondes en M à l'aide d'une figure et d'une équation. Énoncer sous quelle condition pour la différence de marche on a un minimum de vibration. (3)

d) Sur la photo, la médiatrice est indiquée par une ligne pleine et les minima de vibration sont visualisés par des lignes pointillées.
   - Expliquer pourquoi la médiatrice correspond à un maximum de vibration. (1)
   - Comment s'appelle le type de courbe géométrique de ces lignes d'interférence ? (1)
   - Compter le nombre de lignes pointillées (minima) qui passent entre les ailes sur la photo. Expliquer comment on peut en déduire approximativement l'écart O_1O_2. Calculer O_1O_2. (2)

3) Spectrographe de masse (5+3=8 points)

On veut déterminer la masse d'un ion de fer ${}^{?}_{26}Fe^{2+}$ qui entre à la vitesse v = 700 $\frac{km}{s}$ dans la chambre de déviation d'un spectrographe de masse où règne un champ magnétique uniforme d'intensité B = 0,4 T. Le rayon de la trajectoire circulaire vaut R = 0,49 m.

a) Sachant que $\vec{B}$ est perpendiculaire au plan de la trajectoire circulaire on demande de :
- discuter l'orientation et la norme du vecteur accélération (figure) (2)
- montrer que le mouvement est uniforme (1)
- établir l'expression du rayon R de la trajectoire en fonction de m, v, q et B. (2)

b) Calculer la masse de l'ion et en déduire son nombre de masse atomique A. (3)

4) Effet photoélectrique (3+1+4=8 points)

a) Expliquer l'effet photoélectrique à l'aide de l'interprétation d'Einstein et en déduire la formule pour calculer l'énergie cinétique maximale des électrons émis. (3)

b) Expliquer ce qu'on entend par longueur d'onde seuil pour l'effet photoélectrique. (1)

c) On illumine une plaque d'un matériau inconnu avec une lumière monochromatique UV de longueur d'onde λ = 300 nm. On mesure que la vitesse des électrons émis vaut $v = 6\cdot10^5\ \frac{m}{s}$. Calculer le travail d'extraction en J et en eV. En déduire la longueur d'onde seuil en nm. (4)

5) Radioactivité (1+6+2+4= 13 points)

L'isotope radioactif « carbone 14 » noté ^{14}C est formé continuellement dans la haute atmosphère. Il est assimilé par les êtres vivants au même titre que le carbone ^{12}C stable.

Un gramme de carbone pur extrait d'un animal vivant présente une activité due au ^{14}C de **A_0 = 13,60 désintégrations par minute**. Après la mort, la quantité de ^{14}C diminue par désintégration β^-. Le temps de demi-vie de l'isotope est T = 5730 ans.

a) Écrire l'équation de la désintégration β^- du ^{14}C. (1)

b) Établir la loi de la décroissance radioactive pour le nombre de noyaux radioactifs N après un temps t. (4)

c) Établir comment le temps de demi-vie T est lié à la constante de désintégration λ. (2)

d) Exprimer l'activité A et montrer qu'elle suit la même loi de décroissance que N. (2)

e) À cause du dégel climatique, un mammouth a été découvert en Sibérie. Pour dater le corps du mammouth, on a mesuré l'activité d'un échantillon. Pour une masse équivalente à un gramme de carbone, on a trouvé une activité égale à **A = 3,90 désintégrations par minute**.
- Déterminer l'expression littérale de la durée écoulée entre la mort du mammouth et la mesure de l'activité de l'échantillon. (2)
- Calculer cette durée en années. (2)

Relevé des principales constantes physiques

Grandeur physique	Symbole usuel	Valeur numérique	Unité
Constante d'Avogadro	N_A (ou L)	$6{,}022 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Constante molaire des gaz parfaits	R	8,314	$J\ K^{-1}\ mol^{-1}$
Constante de gravitation	K (ou G)	$6{,}673 \cdot 10^{-11}$	$N\ m^2\ kg^{-2}$
Constante électrique pour le vide	$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$8{,}988 \cdot 10^{9}$	$N\ m^2\ C^{-2}$
Célérité de la lumière dans le vide	c	$2{,}998 \cdot 10^{8}$	$m\ s^{-1}$
Perméabilité du vide	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	$H\ m^{-1}$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$8{,}854 \cdot 10^{-12}$	$F\ m^{-1}$
Charge élémentaire	e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$	C
Masse au repos de l'électron	m_e	$9{,}1094 \cdot 10^{-31}$ $5{,}4858 \cdot 10^{-4}$ 0,5110	kg u MeV/c^2
Masse au repos du proton	m_p	$1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ 1,0073 938,27	kg u MeV/c^2
Masse au repos du neutron	m_n	$1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ 1,0087 939,57	kg u MeV/c^2
Masse au repos d'une particule α	m_α	$6{,}6447 \cdot 10^{-27}$ 4,0015 3727,4	kg u MeV/c^2
Constante de Planck	h	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$	J s
Constante de Rydberg de l'atome d'hydrogène	R_H	$1{,}097 \cdot 10^{7}$	m^{-1}
Rayon de Bohr	r_1 (ou a_0)	$5{,}292 \cdot 10^{-11}$	m
Energie de l'atome d'hydrogène dans l'état fondamental	E_1	-13,59	eV

Grandeurs liées à la Terre et au Soleil (elles peuvent dépendre du lieu ou du temps)		Valeur utilisée sauf indication contraire	
Composante horizontale du champ magnétique terrestre	B_h	$2 \cdot 10^{-5}$	T
Accélération de la pesanteur à la surface terrestre	g	9,81	$m\ s^{-2}$
Rayon moyen de la Terre	R	6370	km
Jour sidéral	T	86164	s
Masse de la Terre	M_T	$5{,}98 \cdot 10^{24}$	kg
Masse du Soleil	M_S	$1{,}99 \cdot 10^{30}$	kg

Conversion d'unités en usage avec le SI

1 angström = 1 $\mathring{A}$ = 10^{-10} m

1 électronvolt = 1 eV = $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ J

1 unité de masse atomique = 1 u = $1{,}6605 \cdot 10^{-27}$ kg = 931,49 MeV/c^2

Formules trigonométriques

$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$

$\cos^2 x = \dfrac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$ $\qquad \sin^2 x = \dfrac{\operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$ $\qquad 1 + \operatorname{tg}^2 x = \dfrac{1}{\cos^2 x}$

$\sin(\pi - x) = \sin x$
$\cos(\pi - x) = -\cos x$
$\operatorname{tg}(\pi - x) = -\operatorname{tg} x$

$\sin(\pi + x) = -\sin x$
$\cos(\pi + x) = -\cos x$
$\operatorname{tg}(\pi + x) = \operatorname{tg} x$

$\sin(-x) = -\sin x$
$\cos(-x) = \cos x$
$\operatorname{tg}(-x) = -\operatorname{tg} x$

$\sin(\frac{\pi}{2} - x) = \cos x$

$\cos(\frac{\pi}{2} - x) = \sin x$

$\operatorname{tg}(\frac{\pi}{2} - x) = \operatorname{cotg} x$

$\sin(\frac{\pi}{2} + x) = \cos x$

$\cos(\frac{\pi}{2} + x) = -\sin x$

$\operatorname{tg}(\frac{\pi}{2} + x) = -\operatorname{cotg} x$

$\sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$
$\sin(x - y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$

$\operatorname{tg}(x + y) = \dfrac{\operatorname{tg} x + \operatorname{tg} y}{1 - \operatorname{tg} x \operatorname{tg} y}$

$\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$
$\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$

$\operatorname{tg}(x - y) = \dfrac{\operatorname{tg} x - \operatorname{tg} y}{1 + \operatorname{tg} x \operatorname{tg} y}$

$\sin 2x = 2 \sin x \cos x$
$\cos 2x = \cos^2 x - \sin^2 x$

$2 \cos^2 x = 1 + \cos 2x$
$2 \sin^2 x = 1 - \cos 2x$

$\sin 2x = \dfrac{2 \operatorname{tg} x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$ $\qquad \cos 2x = \dfrac{1 - \operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$ $\qquad \operatorname{tg} 2x = \dfrac{2 \operatorname{tg} x}{1 - \operatorname{tg}^2 x}$

$\sin 3x = 3 \sin x - 4 \sin^3 x$ $\qquad \cos 3x = -3 \cos x + 4 \cos^3 x$

$\sin p + \sin q = 2 \sin \dfrac{p+q}{2} \cos \dfrac{p-q}{2}$

$\sin p - \sin q = 2 \sin \dfrac{p-q}{2} \cos \dfrac{p+q}{2}$

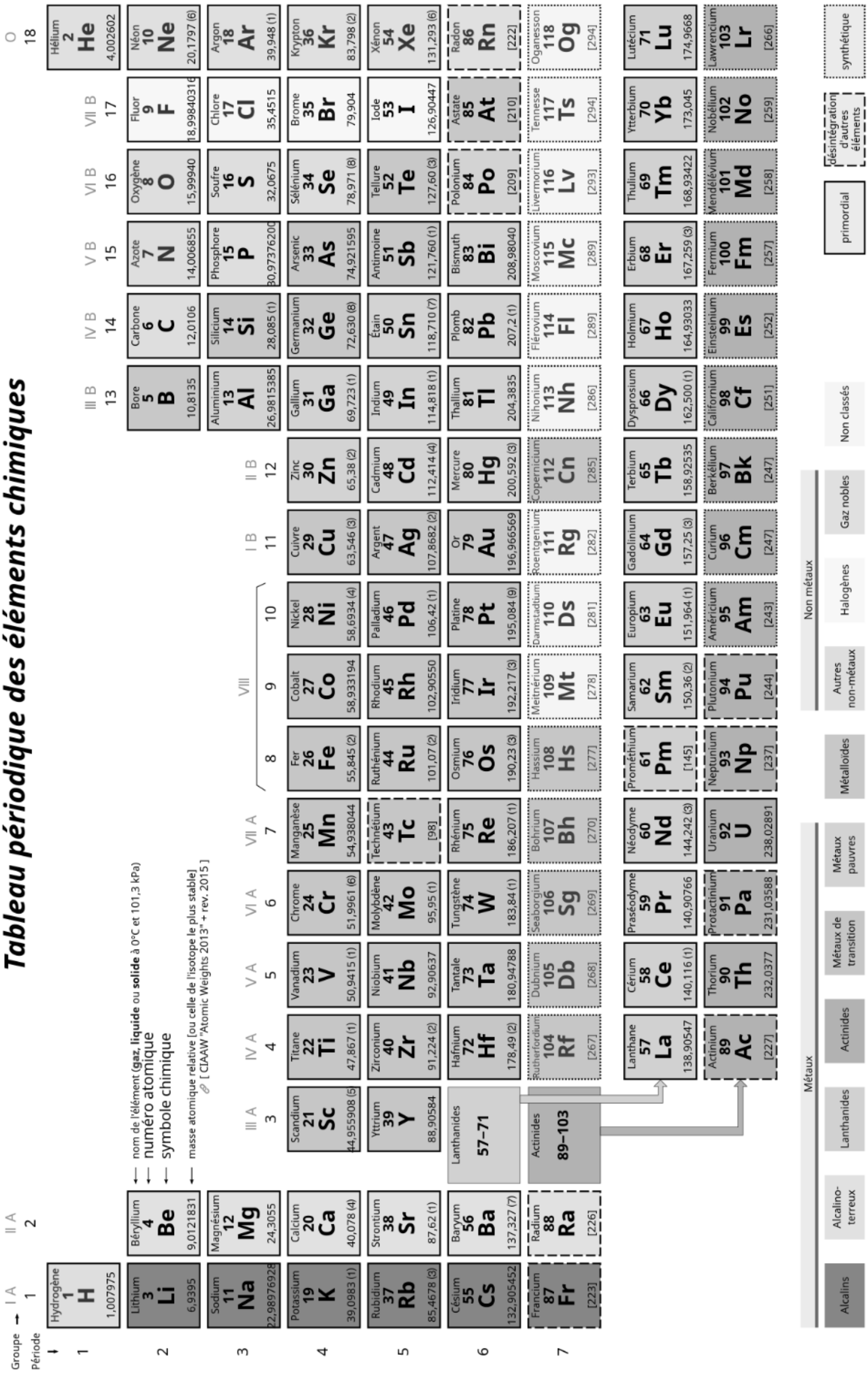
$\cos p + \cos q = 2 \cos \dfrac{p+q}{2} \cos \dfrac{p-q}{2}$

$\cos p - \cos q = -2 \sin \dfrac{p+q}{2} \sin \dfrac{p-q}{2}$

$\operatorname{tg} p + \operatorname{tg} q = \dfrac{\sin(p+q)}{\cos p \cos q}$

$\operatorname{tg} p - \operatorname{tg} q = \dfrac{\sin(p-q)}{\cos p \cos q}$

$\sin x \cos y = \frac{1}{2} [\sin(x+y) + \sin(x-y)]$
$\cos x \cos y = \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)]$
$\sin x \sin y = \frac{1}{2} [\cos(x-y) - \cos(x+y)]$



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tableau_périodique_des_éléments.svg