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 **2019**
BRANCHE	**SECTION(S)**	**ÉPREUVE ÉCRITE**
Physique	**B,C**	*Durée de l'épreuve :* *3 heures* *Date de l'épreuve :* *07 juin 2019*

Question I : Mouvement dans le champ de pesanteur (10 points)

Au bord de la mer, un enfant lance une pierre du haut d'une falaise avec une vitesse initiale de 25 m/s et un angle de tir de 30° au-dessus de l'horizontale. La pierre frappe la surface de l'eau après 5,6 s de vol. On néglige la résistance de l'air.

1. À partir d'une figure munie d'un repère cartésien, établir les équations horaires du vecteur vitesse et du vecteur position de la pierre. (6)
2. Calculer la hauteur du point de lancement de la pierre par rapport au niveau de la mer. (1)
3. Calculer la hauteur du sommet de la trajectoire de la pierre par rapport au niveau de la mer. (3)

Question II : Mission sur Mars (17 points)

Un des grands défis scientifiques de ce siècle sera d'envoyer une mission d'exploration humaine sur la planète Mars. Cet exercice traite différents aspects indépendants d'une telle mission.

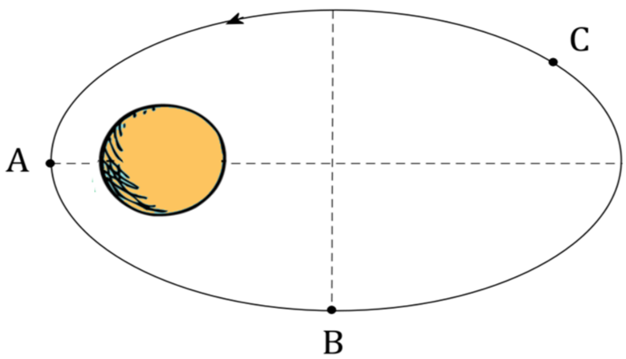
Données : Distance entre les centres de masse de Mars et de Phobos : $r = 9{,}38 \cdot 10^3$ km
Masse de Mars : $m_M = 6{,}42 \cdot 10^{23}$ kg
Masse de Phobos : $m_P = 1{,}07 \cdot 10^{16}$ kg
Jour sidéral de Mars : $T_M = 24$ h 37 min

A. Pour les communications avec la Terre, on pourrait envisager une base relais sur Phobos, l'un des satellites naturels de Mars. On suppose que l'orbite de Phobos autour de Mars est circulaire.

   a) À partir d'une figure, montrer que le mouvement de Phobos est uniforme et établir l'expression de sa vitesse linéaire. (6)

   b) Calculer la vitesse linéaire de Phobos ainsi que sa période de révolution autour de Mars. (2)

B. Afin d'explorer l'atmosphère de Mars, l'agence spatiale NASA a lancé en 2013 la sonde MAVEN (*Mars Atmosphere and Volatile EvolutioN*). L'orbite elliptique de MAVEN autour de Mars est représentée ci-dessous. Recopier la figure et indiquer le vecteur vitesse et le vecteur accélération aux points A, B et C. Respecter l'évolution de la norme de ces vecteurs. (3)



C. Un satellite martiostationnaire (immobile pour un observateur sur Mars) pourrait être utilisé pour les télécommunications sur Mars. Dans quel plan d'orbite faudrait-il placer un tel satellite ? Quelle serait sa période de révolution ? (2)

D. Une fois sur la planète Mars, les explorateurs auront besoin d'une source d'énergie. Une possibilité serait d'utiliser un réacteur de fusion nucléaire alimenté avec du deutérium ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ et du tritium ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$, qui fusionnent en libérant un neutron.

Données : $m({}^{2}_{1}\mathrm{H}) = 2{,}01355\ \mathrm{u}$; $m({}^{3}_{1}\mathrm{H}) = 3{,}01550\ \mathrm{u}$

a) Écrire l'équation de la fusion nucléaire, en précisant les lois de conservation utilisées. (2)
b) Calculer l'énergie libérée par la réaction de fusion en MeV. (2)

<u>*Question III : Vibrations et ondes*</u> (14 points)

1. Questions à choix multiples (1 point par question). Il y a une seule réponse correcte par question. Veuillez noter la lettre de votre choix sur votre feuille. On ne demande pas de justification.

QCM 1 : Un pendule élastique horizontal effectue des oscillations harmoniques le long d'un axe (Ox) orienté vers la droite. L'origine O de l'axe correspond au milieu du segment parcouru par le centre d'inertie G du solide de masse m. L'abscisse de G est notée x. L'équation horaire de G est donnée par : $x(t) = A\sin(2\pi\, t + \pi)$, où x est exprimé en mètres et t en secondes.

a) L'accélération de G
- A. est constante
- B. est maximale aux extrémités de la trajectoire de G
- C. est maximale en O
- D. est toujours inférieure à g
- E. change de signe aux extrémités

b) À l'instant initial $t = 0$,
- A. G se trouve en O et se déplace vers la gauche
- B. G se trouve en O et se déplace vers la droite
- C. G se trouve à l'extrémité droite de sa trajectoire et a une vitesse nulle
- D. G se trouve à l'extrémité gauche de sa trajectoire et a une vitesse nulle
- E. Aucune de ces réponses

c) La vitesse maximale (en m/s) de G vaut

A. 1 B. A C. 2π D. $A \cdot 2\pi$ E. $A \cdot 4\pi^2$

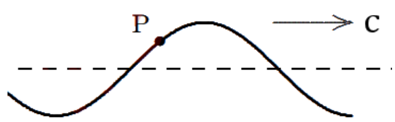
d) La période T des oscillations (en s) vaut

A. 0,5 B. 1 C. 2 D. π E. 2π

e) On double la masse m du solide. La période devient alors

A. T B. $2\,T$ C. $\sqrt{2}\,T$ D. $0{,}5\,T$ E. $\frac{\sqrt{2}}{2}\,T$

QCM 2 : Une onde progressive transversale se propage le long d'une corde avec une célérité c vers la droite.



a) Le sens de déplacement instantané du point P sur la corde est

A. $\uparrow$ B. $\downarrow$ C. $\rightarrow$ D. $\nearrow$ E. Aucune de ces réponses

b) L'onde progressive est décrite par l'équation d'onde $y(x,t) = 0{,}1\sin(6t - 3x)$, où x est exprimé en mètres et t en secondes. La célérité c de l'onde (en m/s) vaut

A. 0,1 B. 0,5 C. 2 D. 2π E. Aucune de ces réponses

QCM 3 : L'équation de l'onde stationnaire dans une corde de Melde, dont les extrémités fixes sont distantes de 40 cm, est donnée par l'expression $y(x,t) = 0{,}04\sin(5\pi x)\cos(40\pi t)$, où y et x sont exprimés en mètres et t en secondes.

a) La fréquence de vibration d'un point (qui n'est pas un nœud) de la corde vaut

A. 2,5 Hz B. 5 Hz C. 10 Hz D. 20 Hz E. 40 Hz

b) Le nombre de fuseaux vaut

A. 1 B. 2 C. 3 D. 4 E. 5

2. La tension dans une corde de masse linéique 1 g/m vaut 0,40 N.
   a) Calculer la fréquence d'une onde progressive de longueur d'onde 20 cm qui se propage à travers cette corde. (2)
   b) Comparer, en justifiant, l'état vibratoire de deux points distants de 30 cm sur cette corde. (1)

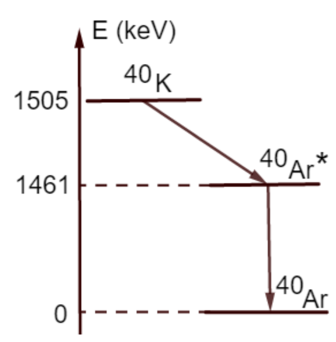
3. Dans une expérience avec les fentes de Young, la distance séparant les centres des deux fentes est doublée. Comment doit-on modifier la distance D entre le plan des fentes et l'écran pour que l'interfrange sur l'écran reste identique ? Justifier. (2)

<u>*Question IV : Relativité restreinte*</u> (10 points)

1. Définir : durée propre et une durée impropre. (2)
2. Dans le SLAC (Stanford Linear Accelerator), des électrons sont accélérés par une tension de 1,5 MV.
   a) Calculer l'énergie totale de ces électrons. (2)
   b) Calculer la vitesse des électrons et l'exprimer en % de la célérité de la lumière. (3)
   c) Calculer la longueur d'onde associée à ces électrons. (2)
   d) Ensuite, les électrons parcourent à vitesse constante un tunnel de longueur au repos 3 km. Calculer la longueur du tunnel dans le référentiel des électrons. (1)

<u>*Question V : Radioactivité*</u> (9 points)

1. Définir : demi-vie d'un radionucléide. (1)
2. Les roches volcaniques contiennent du potassium radioactif ^{40}K qui se désintègre en argon gazeux ^{40}Ar avec une demi-vie de $T_{1/2} = 1{,}3 \cdot 10^9$ ans. Lors d'une éruption volcanique, tout l'argon s'échappe de la lave et la lave solidifiée ne contient plus d'argon antérieur à la date de l'éruption. Une analyse montre qu'un échantillon d'une roche volcanique d'un ancien volcan contient une masse de 2,9800 mg de ^{40}K et une masse de 8,6 µg de ^{40}Ar.
   a) Quelle masse m_0(en mg) de potassium radioactif ^{40}K l'échantillon renfermait-il juste après la dernière éruption du volcan ? (1)
   b) Combien d'années se sont écoulées depuis la dernière éruption ? (3)
   c) Le noyau ^{40}Ar issu de la désintégration du ^{40}K se trouve dans un état excité. Il passe ensuite à l'état fondamental en émettant un rayonnement électromagnétique, comme l'indique le diagramme ci-contre. Calculer la longueur d'onde de la radiation émise. (2)
   d) À quel domaine du spectre électromagnétique cette radiation appartient-elle ? Comment appelle-t-on les corpuscules associés à cette radiation ? (1)
   e) Donner la relation entre l'énergie et la quantité de mouvement pour une telle particule. (1)



Relevé des principales constantes physiques

Grandeur physique	Symbole usuel	Valeur numérique	Unité
Constante d'Avogadro	N_A (ou L)	$6{,}022\cdot10^{23}$	mol^{-1}
Constante molaire des gaz parfaits	R	8,314	$J\ K^{-1}\ mol^{-1}$
Constante de gravitation	K (ou G)	$6{,}673\cdot10^{-11}$	$N\ m^2\ kg^{-2}$
Constante électrique pour le vide	$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$8{,}988\cdot10^{9}$	$N\ m^2\ C^{-2}$
Célérité de la lumière dans le vide	c	$2{,}998\cdot10^{8}$	$m\ s^{-1}$
Perméabilité du vide	μ_0	$4\pi\cdot10^{-7}$	$H\ m^{-1}$
Permittivité du vide	$\varepsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$8{,}854\cdot10^{-12}$	$F\ m^{-1}$
Charge élémentaire	e	$1{,}602\cdot10^{-19}$	C
Masse au repos de l'électron	m_e	$9{,}1094\cdot10^{-31}$ $5{,}4858\cdot10^{-4}$ 0,5110	kg u MeV/c^2
Masse au repos du proton	m_p	$1{,}6726\cdot10^{-27}$ 1,0073 938,27	kg u MeV/c^2
Masse au repos du neutron	m_n	$1{,}6749\cdot10^{-27}$ 1,0087 939,57	kg u MeV/c^2
Masse au repos d'une particule α	m_α	$6{,}6447\cdot10^{-27}$ 4,0015 3727,4	kg u MeV/c^2
Constante de Planck	h	$6{,}626\cdot10^{-34}$	J s
Constante de Rydberg de l'atome d'hydrogène	R_H	$1{,}097\cdot10^{7}$	m^{-1}
Rayon de Bohr	r_1 (ou a_0)	$5{,}292\cdot10^{-11}$	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	$2\cdot10^{-5}$	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	$5{,}98\cdot10^{24}$	kg
Masse du Soleil	M_S	$1{,}99\cdot10^{30}$	kg

Conversion d'unités en usage avec le SI

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

1 électronvolt = 1 eV = $1{,}602\cdot10^{-19}$ J

1 unité de masse atomique = 1 u = $1{,}6605\cdot10^{-27}$ kg = 931,49 MeV/c^2

Formulles trigonométriques

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

$$\cos^2 x = \frac{1}{1 + \mathrm{tg}^2 x} \qquad \sin^2 x = \frac{\mathrm{tg}^2 x}{1 + \mathrm{tg}^2 x} \qquad 1 + \mathrm{tg}^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$$

$$\begin{aligned} \sin(\pi - x) &= \sin x \\ \cos(\pi - x) &= -\cos x \\ \mathrm{tg}(\pi - x) &= -\mathrm{tg}\, x \end{aligned} \qquad \begin{aligned} \sin(\pi + x) &= -\sin x \\ \cos(\pi + x) &= -\cos x \\ \mathrm{tg}(\pi + x) &= \mathrm{tg}\, x \end{aligned} \qquad \begin{aligned} \sin(-x) &= -\sin x \\ \cos(-x) &= \cos x \\ \mathrm{tg}(-x) &= -\mathrm{tg}\, x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin(\tfrac{\pi}{2} - x) &= \cos x \\ \cos(\tfrac{\pi}{2} - x) &= \sin x \\ \mathrm{tg}(\tfrac{\pi}{2} - x) &= \mathrm{cotg}\, x \end{aligned} \qquad \begin{aligned} \sin(\tfrac{\pi}{2} + x) &= \cos x \\ \cos(\tfrac{\pi}{2} + x) &= -\sin x \\ \mathrm{tg}(\tfrac{\pi}{2} + x) &= -\mathrm{cotg}\, x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin(x + y) &= \sin x \cos y + \cos x \sin y \\ \sin(x - y) &= \sin x \cos y - \cos x \sin y \end{aligned} \qquad \mathrm{tg}(x + y) = \frac{\mathrm{tg}\, x + \mathrm{tg}\, y}{1 - \mathrm{tg}\, x\, \mathrm{tg}\, y}$$

$$\begin{aligned} \cos(x + y) &= \cos x \cos y - \sin x \sin y \\ \cos(x - y) &= \cos x \cos y + \sin x \sin y \end{aligned} \qquad \mathrm{tg}(x - y) = \frac{\mathrm{tg}\, x - \mathrm{tg}\, y}{1 + \mathrm{tg}\, x\, \mathrm{tg}\, y}$$

$$\begin{aligned} \sin 2x &= 2 \sin x \cos x \\ \cos 2x &= \cos^2 x - \sin^2 x \end{aligned} \qquad \begin{aligned} 2\cos^2 x &= 1 + \cos 2x \\ 2\sin^2 x &= 1 - \cos 2x \end{aligned}$$

$$\sin 2x = \frac{2\,\mathrm{tg}\, x}{1 + \mathrm{tg}^2 x} \qquad \cos 2x = \frac{1 - \mathrm{tg}^2 x}{1 + \mathrm{tg}^2 x} \qquad \mathrm{tg}\, 2x = \frac{2\,\mathrm{tg}\, x}{1 - \mathrm{tg}^2 x}$$

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

$$\begin{aligned} \sin p + \sin q &= 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2} \\ \sin p - \sin q &= 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2} \\ \cos p + \cos q &= 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2} \\ \cos p - \cos q &= -2 \sin \frac{p+q}{2} \sin \frac{p-q}{2} \end{aligned} \qquad \begin{aligned} \mathrm{tg}\, p + \mathrm{tg}\, q &= \frac{\sin(p+q)}{\cos p \cos q} \\ \mathrm{tg}\, p - \mathrm{tg}\, q &= \frac{\sin(p-q)}{\cos p \cos q} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin x \cos y &= \tfrac{1}{2}\left[\sin(x+y) + \sin(x-y)\right] \\ \cos x \cos y &= \tfrac{1}{2}\left[\cos(x+y) + \cos(x-y)\right] \\ \sin x \sin y &= \tfrac{1}{2}\left[\cos(x-y) - \cos(x+y)\right] \end{aligned}$$

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

http://www.ktf-split.hr/periodni/fr/

NUMÉRO DU GROUPE RECOMMANDATIONS DE L'IUPAC (1985): 13

NUMÉRO DU GROUPE CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986): IIIA

NOMBRE ATOMIQUE: 5 — MASSE ATOMIQUE RELATIVE (1): 10.811 — SYMBOLE: B — NOM DE L'ÉLÉMENT: BORE

PÉRIODE / GROUPE	1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1	1 1.0079 **H** HYDROGÈNE																	2 4.0026 **He** HÉLIUM
2	3 6.941 **Li** LITHIUM	4 9.0122 **Be** BÉRYLLIUM											5 10.811 **B** BORE	6 12.011 **C** CARBONE	7 14.007 **N** AZOTE	8 15.999 **O** OXYGÈNE	9 18.998 **F** FLUOR	10 20.180 **Ne** NÉON
3	11 22.990 **Na** SODIUM	12 24.305 **Mg** MAGNÉSIUM											13 26.982 **Al** ALUMINIUM	14 28.086 **Si** SILICIUM	15 30.974 **P** PHOSPHORE	16 32.065 **S** SOUFRE	17 35.453 **Cl** CHLORE	18 39.948 **Ar** ARGON
4	19 39.098 **K** POTASSIUM	20 40.078 **Ca** CALCIUM	21 44.956 **Sc** SCANDIUM	22 47.867 **Ti** TITANE	23 50.942 **V** VANADIUM	24 51.996 **Cr** CHROME	25 54.938 **Mn** MANGANÈSE	26 55.845 **Fe** FER	27 58.933 **Co** COBALT	28 58.693 **Ni** NICKEL	29 63.546 **Cu** CUIVRE	30 65.39 **Zn** ZINC	31 69.723 **Ga** GALLIUM	32 72.64 **Ge** GERMANIUM	33 74.922 **As** ARSENIC	34 78.96 **Se** SÉLÉNIUM	35 79.904 **Br** BROME	36 83.80 **Kr** KRYPTON
5	37 85.468 **Rb** RUBIDIUM	38 87.62 **Sr** STRONTIUM	39 88.906 **Y** YTTRIUM	40 91.224 **Zr** ZIRCONIUM	41 92.906 **Nb** NIOBIUM	42 95.94 **Mo** MOLYBDÈNE	43 (98) **Tc** TECHNÉTIUM	44 101.07 **Ru** RUTHÉNIUM	45 102.91 **Rh** RHODIUM	46 106.42 **Pd** PALLADIUM	47 107.87 **Ag** ARGENT	48 112.41 **Cd** CADMIUM	49 114.82 **In** INDIUM	50 118.71 **Sn** ETAIN	51 121.76 **Sb** ANTIMOINE	52 127.60 **Te** TELLURE	53 126.90 **I** IODE	54 131.29 **Xe** XÉNON
6	55 132.91 **Cs** CÉSIUM	56 137.33 **Ba** BARYUM	57-71 **La-Lu** Lanthanides	72 178.49 **Hf** HAFNIUM	73 180.95 **Ta** TANTALE	74 183.84 **W** TUNGSTÈNE	75 186.21 **Re** RHÉNIUM	76 190.23 **Os** OSMIUM	77 192.22 **Ir** IRIDIUM	78 195.08 **Pt** PLATINE	79 196.97 **Au** OR	80 200.59 **Hg** MERCURE	81 204.38 **Tl** THALLIUM	82 207.2 **Pb** PLOMB	83 208.98 **Bi** BISMUTH	84 (209) **Po** POLONIUM	85 (210) **At** ASTATE	86 (222) **Rn** RADON
7	87 (223) **Fr** FRANCIUM	88 (226) **Ra** RADIUM	89-103 **Ac-Lr** Actinides	104 (261) **Rf** RUTHERFORDIUM	105 (262) **Db** DUBNIUM	106 (266) **Sg** SEABORGIUM	107 (264) **Bh** BOHRIUM	108 (277) **Hs** HASSIUM	109 (268) **Mt** MEITNERIUM	110 (281) **Uun** UNUNNILIUM	111 (272) **Uuu** UNUNUNIUM	112 (285) **Uub** UNUNBIUM		114 (289) **Uuq** UNUNQUADIUM				

Lanthanides

6	57 138.91 **La** LANTHANE	58 140.12 **Ce** CÉRIUM	59 140.91 **Pr** PRASÉODYME	60 144.24 **Nd** NÉODYME	61 (145) **Pm** PROMÉTHIUM	62 150.36 **Sm** SAMARIUM	63 151.96 **Eu** EUROPIUM	64 157.25 **Gd** GADOLINIUM	65 158.93 **Tb** TERBIUM	66 162.50 **Dy** DYSPROSIUM	67 164.93 **Ho** HOLMIUM	68 167.26 **Er** ERBIUM	69 168.93 **Tm** THULIUM	70 173.04 **Yb** YTTERBIUM	71 174.97 **Lu** LUTÉTIUM

Actinides

7	89 (227) **Ac** ACTINIUM	90 232.04 **Th** THORIUM	91 231.04 **Pa** PROTACTINIUM	92 238.03 **U** URANIUM	93 (237) **Np** NEPTUNIUM	94 (244) **Pu** PLUTONIUM	95 (243) **Am** AMÉRICIUM	96 (247) **Cm** CURIUM	97 (247) **Bk** BERKÉLIUM	98 (251) **Cf** CALIFORNIUM	99 (252) **Es** EINSTEINIUM	100 (257) **Fm** FERMIUM	101 (258) **Md** MENDELÉVIUM	102 (259) **No** NOBÉLIUM	103 (262) **Lr** LAWRENCIUM

(1) Pure Appl. Chem., **73**, No. 4, 667-683 (2001)

La masse atomique relative est donnée avec cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande.

Toutefois, pour les trois éléments Th, Pa et U qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

Editor: Michel Ditria