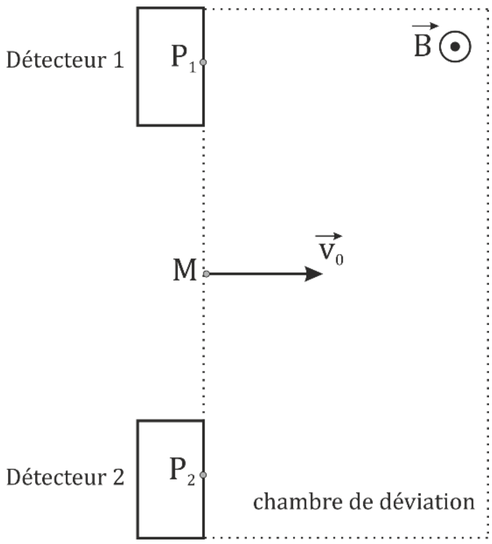
LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enfance et de la Jeunesse	**EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES CLASSIQUES 2019**	
BRANCHE	**SECTION(S)**	**ÉPREUVE ÉCRITE**
Physique	**B, C**	*Durée de l'épreuve : 3 heures* *Date de l'épreuve : 17 septembre 2019*

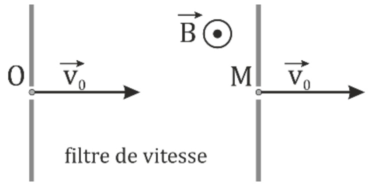
A. Spectrographe de masse avec filtre de vitesse (18)

Des ions de masse m et de charge $q > 0$ entrent au point M dans la chambre de déviation d'un spectrographe de masse avec une vitesse $\vec{v}_0$ comme indiquée sur la figure. Ils y sont soumis à un champ magnétique uniforme $\vec{B} \perp \vec{v}_0$.
Les ions se déplacent sur une trajectoire plane et finissent par atteindre l'un des détecteurs au point P_1 ou P_2.
Le mouvement a lieu dans le vide et on néglige le poids des ions.



1. Donner l'expression vectorielle de la force magnétique $\vec{f}$ agissant sur les ions.
   Reproduire la partie utile de la figure, représenter $\vec{f}$ (en 2 points distincts) et indiquer la trajectoire suivie par les ions. (2)
2. Montrer que le mouvement des ions entre M et le point d'impact est **uniforme et circulaire**. Etablir l'expression du **rayon** R de leur trajectoire. (5)

Avant d'atteindre le point M, les ions ont traversé un filtre de vitesse. Dans ce filtre règne le même champ magnétique $\vec{B}$ uniforme que dans la chambre de déviation. Il y existe également un champ électrique uniforme $\vec{E}$.



Au point O, les ions ont des vitesses différentes. Seuls les ions qui, en O, possèdent la vitesse $\vec{v}_0$ peuvent atteindre le point M (et entrer dans la chambre de déviation). Leur vecteur vitesse ne change pas à l'intérieur du filtre.

3. Trouver, en justifiant, l'orientation du vecteur $\vec{E}$ ainsi que l'expression de son intensité (en fonction de v_0 et de B). Reproduire et compléter la figure ($\vec{E}$ et force(s) agissant sur un ion). (4)
4. Qu'est-ce qui arrive à un ion ayant une vitesse $v < v_0$? Justifier. (2)

On suppose dans la suite que $v_0 = \frac{E}{B}$.

5. Lorsque $E = 25\ \frac{kV}{m}$, $B = 500\ mT$, $q = +e$, on observe que la distance entre M et le point d'impact (P_1 ou P_2) vaut 43,32 cm. En déduire la masse m (en u) des ions. (3)
6. On maintient fixe $\vec{E}$ et on triple l'intensité du champ magnétique $\vec{B}$ (dans le filtre de vitesse et dans la chambre de déviation). Indiquer, comment varie … (par rapport à la situation initiale)
   a. …la vitesse des ions capables d'entrer dans la chambre de déviation. Justifier sans calcul. (1)
   b. …le rayon de leur trajectoire dans la chambre de déviation. Justifier sans calcul. (1)

B. Pendule élastique (9)

1. Etablir, à l'aide d'un raisonnement énergétique, l'équation différentielle d'un pendule élastique horizontal non amorti. Une figure convenable (avec repère) est exigée. (5)
2. L'amplitude du mouvement vaut 50 cm et la raideur du ressort vaut 40 $\frac{N}{m}$.
   A un instant donné, on constate que $x = 40\ cm$ et $v_x = -150\ \frac{cm}{s}$. L'abscisse x est mesurée à partir de la position d'équilibre du pendule.
   a. Calculer l'énergie mécanique du pendule. (1)
   b. Trouver la masse du corps accroché au ressort. (3)

C. Ondes progressives (10)

Une source, fixée à une extrémité d'une corde horizontale, impose une oscillation harmonique verticale d'équation $y_S(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$.
On néglige l'amortissement et toute réflexion. L'onde se propage dans le sens des x positifs.

1. Etablir l'équation d'onde décrivant à l'instant t l'état du point situé à une distance x de la source. (5)
2. Est-ce que l'onde ainsi produite est transversale ou longitudinale ? Justifier. (1)
3. En fait, l'équation horaire de la source s'écrit, en unités SI,
   $$y_S(t) = 0{,}05 \cdot \sin(250\pi t + \frac{\pi}{2})$$
   La corde, dont 3 m ont une masse de 18 g, est tendue par une force de 15 N.
   a. Calculer la période (temporelle), la longueur d'onde et la célérité de l'onde. (2)
   b. Quelle est l'équation horaire du point M situé à 50 cm de la source ? Simplifier le résultat autant que possible. (2)

D. Relativité et dualité onde-corpuscule (9)

Un grain de sable de 200 μg se déplace à une vitesse de 0,1 $\frac{m}{s}$.

1. Faut-il effectuer des calculs relativistes pour décrire le mouvement du grain de sable ? Justifier. (1)
2. Calculer la quantité de mouvement (en unité SI) ainsi que l'énergie cinétique (en MeV) du grain de sable. (2)
3. Quelle est la longueur d'onde de de Broglie associée au grain de sable ? Peut-il être diffracté s'il vole à travers une porte typique (largeur = 80 cm, hauteur = 2 m) ? Justifier. (1+1)
4. A quelle vitesse (l'indiquer en % de c) une particule α doit-elle se déplacer pour que son énergie cinétique soit égale à celle du grain de sable ? (3)
5. Que vaut la quantité de mouvement de la particule α précédente ? (1)

E. Radioactivité (14)

1. Etablir la loi de décroissance radioactive. (6)
2. Définir, à l'aide d'une phrase, l'activité d'un échantillon radioactif et indiquer son unité SI (nom entier). (2)

Le strontium-89 est un émetteur β^- utilisé pour traiter différents types de cancer. Sa demi-vie vaut 50,57 jours et sa masse atomique vaut 88,9 u. Le produit de la désintégration est stable.

3. Ecrire l'équation de désintégration. Est-ce que le nombre de **neutrons** est conservé lors de cette désintégration ? (2)
4. On injecte un échantillon de strontium-89 ayant une activité de 148 MBq.
   a. Combien de grammes de strontium-89 ont été injectés ? (3)
   b. Que vaut l'activité au bout de 7 jours ? (1)

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 $\overset{o}{A}$ = 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

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

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

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

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

$$\sin(x + y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$$
$$\sin(x - y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$$
$$\mathrm{tg}(x + y) = \frac{\mathrm{tg}\, x + \mathrm{tg}\, y}{1 - \mathrm{tg}\, x\, \mathrm{tg}\, y}$$

$$\cos(x + y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$$
$$\cos(x - y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$$
$$\mathrm{tg}(x - y) = \frac{\mathrm{tg}\, x - \mathrm{tg}\, y}{1 + \mathrm{tg}\, x\, \mathrm{tg}\, y}$$

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

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

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

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

$$\mathrm{tg}\, p + \mathrm{tg}\, q = \frac{\sin(p+q)}{\cos p \cos q}$$
$$\mathrm{tg}\, p - \mathrm{tg}\, q = \frac{\sin(p-q)}{\cos p \cos q}$$

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

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