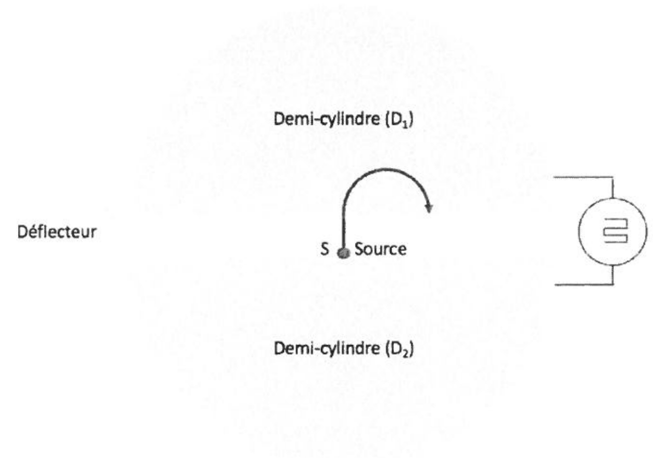
LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enfance et de la Jeunesse	**EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES** **Session 2016**
ÉPREUVE ÉCRITE	**Branche : Physique**
Section(s) : B & C	**N° d'ordre du candidat :**
Date de l'épreuve : 6 juin 2016	**Durée de l'épreuve : 3 heures**

A – Cyclotron (15 points)

Dans un cyclotron, composé de deux demi-cylindres en forme de « D » appelés « dés » et placés dans un champ magnétique (B = 0,9 T) uniforme perpendiculaire au plan de la feuille, des protons sont accélérés à partir du repos. Les deux régions magnétiques sont séparées par une région dans laquelle le champ magnétique ne règne pas. L'amplitude de la tension appliquée aux bornes des demi-cylindres est U = 75 kV. La polarité s'inverse chaque fois que les particules parcourent une demi-révolution.

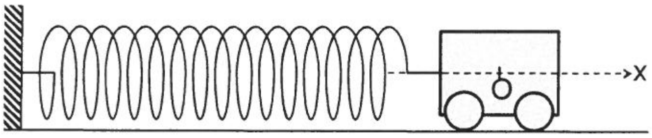
Au point S, entre les dés, se trouve une source de protons.



1) Montrer que le mouvement des protons dans un dé est plan, uniforme et circulaire. En déduire l'expression du rayon de la trajectoire. (7p)
2) Déterminer le sens du champ magnétique pour que les protons décrivent des demi-cercles dans le sens des aiguilles d'une montre (voir figure ci-dessus). (1p)
3) Déterminer l'expression du rayon de la trajectoire d'un proton en fonction de e, m, B et U
   a) après une demie révolution,
   b) après une première révolution complète,
   c) après N révolutions. (4p)
4) En déduire le nombre de révolutions effectuées par les protons dans un cyclotron d'un rayon de 50 cm. (3p)

B – Oscillateur mécanique (16 points)

Un wagon de masse m, relié à une extrémité d'un ressort à spires non jointives, effectue des oscillations sans frottements dans une direction horizontale.



1) Etablir l'équation différentielle du mouvement de cet oscillateur par la méthode énergétique. (4p)

2) Proposer une solution et vérifier qu'il s'agit bien d'une solution de l'équation différentielle. (3p)

3) Les affirmations suivantes sont-elles vraies pour l'oscillateur décrit ici ? Donner une justification.
   a) Les vecteurs accélération et vitesse du wagon ont à chaque instant le même sens. (1p)
   b) Si on remplaçait le ressort par un ressort ayant une constante de raideur deux fois plus grande, la période des oscillations serait deux fois plus courte. (2p)

4) On considère maintenant que le wagon est soumis à une faible force de frottement lors de ses oscillations.
   a) Décrire l'influence de ce faible amortissement sur le mouvement du wagon à l'aide d'un graphique. (2p)
   b) On relie l'oscillateur faiblement amorti à un excitateur dont on peut choisir la fréquence de vibration. Décrire le mouvement du wagon en fonction de la fréquence de l'excitateur. (4p)

C – Expérience des muons revisitée (16 points)

On tente de répéter l'expérience des muons au sommet du Mont Blanc (altitude 4 810 m) et à Genève (altitude 370 m). Les muons sont des particules élémentaires produites dans la haute atmosphère qui se désintègrent spontanément d'après une loi exponentielle analogue à la loi de décroissance radioactive. Leur demi-vie dans un référentiel où ils sont au repos est $T = 1{,}5\ \mu s$. Leur vitesse par rapport à un observateur terrestre est $v = 0{,}995 \cdot c$.

1) Etablir la loi de décroissance radioactive. (4p)

Au sommet du Mont Blanc, on détecte, grâce à un dispositif approprié, 6 254 (= N_0) muons en une heure. A Genève, on détecte N_1 muons en une heure.

2) Considérons les événements suivants :
   E_1 – « Le muon passe le sommet du Mont Blanc »
   E_2 – « Le muon passe Genève ».
   L'intervalle de temps entre ces deux événements est-il un temps propre ou un temps impropre pour un observateur terrestre ? Expliquer ! (1p)
3) Calculer le nombre de muons qu'il faudrait détecter à l'altitude de Genève, si on ne tenait pas compte des effets relativistes. (3p)
4) Calculer le nombre de muons qu'il faudrait détecter à Genève, si on tenait compte des effets relativistes. (4p)
5) Sachant que le muon a une masse de 105,66 MeV/c^2, calculer son énergie cinétique. (2p)
6) Préciser dans quel référentiel les événements E_1 et E_2 ont lieu au même endroit ! Ces deux événements peuvent-ils être simultanés dans un autre référentiel en mouvement rectiligne uniforme par rapport à ce référentiel? Justifier! (2p)

D – Centrale nucléaire (13 points)

1) Enoncer les lois de conservation valables pour les réactions nucléaires. (2p)
2) Définir l'énergie de liaison. (1p)
3) Définir la fission nucléaire. (1p)

Une des nombreuses réactions se produisant dans une centrale nucléaire est la suivante:

$$ {}_{0}^{1}n + {}_{92}^{235}U \rightarrow {}_{55}^{140}Cs + {}_{x}^{93}Rb + y\ {}_{0}^{1}n $$

4) Déterminer x et y de manière à équilibrer cette réaction. (1p)
5) Calculer l'énergie libérée lors de cette réaction. (2p)
6) Calculer en GeV et en joules l'énergie libérée par 1 g d'uranium 235. (4p)
7) Si on suppose un rendement de 80%, pendant combien de temps la fission de 1 g d'uranium permet-elle de délivrer une puissance de 1 MW? (2p)

Données:

Noyau	**Masse atomique en u**	**Masse nucléaire en GeV/c^2**	**Énergie de liaison en MeV**
uranium 235	235,044	218,896	1 783,10
césium 140	139,917	130,304	1 164,06
rubidium 93	92,917	86,533	798,92

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	$k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$8{,}988\cdot10^{9}$	$N\,m^2\,C^{-2}$
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	$\varepsilon_0 = \dfrac{1}{\mu_0 c^2}$	$8{,}854\cdot10^{-12}$	$F\,m^{-1}$
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	$= 1\ \mathring{A} = 10^{-10}$ m
1 électronvolt	$= 1$ eV $= 1{,}602\cdot10^{-19}$ J
1 unité de masse atomique	$= 1$ u $= 1{,}6605\cdot10^{-27}$ kg $= 931{,}49\ MeV/c^2$

Formules trigonométriques

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

$$\cos^2 x = \frac{1}{1+\tan^2 x}$$

$$\sin(\pi - x) = \sin x \qquad \sin(\pi + x) = -\sin x \qquad \sin(-x) = -\sin x$$
$$\cos(\pi - x) = -\cos x \qquad \cos(\pi + x) = -\cos x \qquad \cos(-x) = \cos x$$
$$\tan(\pi - x) = -\tan x \qquad \tan(\pi + x) = \tan x \qquad \tan(-x) = -\tan x$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cos x \qquad \sin\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = \cos x$$
$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \sin x \qquad \cos\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\sin x$$
$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \text{cotan } x \qquad \tan\left(\frac{\pi}{2} + x\right) = -\text{cotan } x$$

$$\sin(x+y) = \sin x \cos y + \cos x \sin y$$
$$\sin(x-y) = \sin x \cos y - \cos x \sin y$$
$$\tan(x+y) = \frac{\tan x + \tan y}{1 - \tan x \tan y}$$

$$\cos(x+y) = \cos x \cos y - \sin x \sin y$$
$$\cos(x-y) = \cos x \cos y + \sin x \sin y$$
$$\tan(x-y) = \frac{\tan x - \tan y}{1 + \tan x \tan y}$$

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

$$\sin 2x = \frac{2\tan x}{1+\tan^2 x} \qquad \cos 2x = \frac{1-\tan^2 x}{1+\tan^2 x} \qquad \tan 2x = \frac{2\tan x}{1-\tan^2 x}$$

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

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

$$\tan p + \tan q = \frac{\sin(p+q)}{\cos p \cos q}$$
$$\tan p - \tan q = \frac{\sin(p-q)}{\cos p \cos q}$$

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

Tableau périodique des éléments

I	II	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA			IA	IIA	III	IV	V	VI	VII	VIII
1,0 H 1																	4,0 He 2
6,9 Li 3	9,0 Be 4											10,8 B 5	12,0 C 6	14,0 N 7	16,0 O 8	19,0 F 9	20,2 Ne 10
23,0 Na 11	24,3 Mg 12											27,0 Al 13	28,1 Si 14	31,0 P 15	32,1 S 16	35,5 Cl 17	39,9 Ar 18
39,1 K 19	40,1 Ca 20	45,0 Sc 21	47,9 Ti 22	50,9 V 23	52,0 Cr 24	54,9 Mn 25	55,8 Fe 26	58,9 Co 27	58,7 Ni 28	63,5 Cu 29	65,4 Zn 30	69,7 Ga 31	72,6 Ge 32	74,9 As 33	79,0 Se 34	79,9 Br 35	83,8 Kr 36
85,5 Rb 37	87,6 Sr 38	88,9 Y 39	91,2 Zr 40	92,9 Nb 41	95,9 Mo 42	(98,6) Tc 43	101,1 Ru 44	102,9 Rh 45	106,4 Pd 46	107,9 Ag 47	112,4 Cd 48	114,8 In 49	118,7 Sn 50	121,8 Sb 51	127,6 Te 52	126,9 I 53	131,3 Xe 54
132,9 Cs 55	137,3 Ba 56	138,9 La 57	178,5 Hf 72	180,9 Ta 73	183,9 W 74	186,2 Re 75	190,2 Os 76	192,2 Ir 77	195,1 Pt 78	197,0 Au 79	200,6 Hg 80	204,4 Tl 81	207,2 Pb 82	209,0 Bi 83	(209) Po 84	(210) At 85	(222) Rn 86
(223) Fr 87	226,0 Ra 88	227,0 Ac 89	(261) Rf 104	(262) Ha 105	(263) Sg 106												

140,1 Ce 58	140,9 Pr 59	144,2 Nd 60	(145) Pm 61	150,4 Sm 62	152,0 Eu 63	157,3 Gd 64	158,9 Tb 65	162,5 Dy 66	164,9 Ho 67	167,3 Er 68	168,9 Tm 69	173,0 Yb 70	175,0 Lu 71
232,0 Th 90	231,0 Pa 91	238,0 U 92	237,0 Np 93	(244) Pu 94	(243) Am 95	(247) Cm 96	(247) Bk 97	(251) Cf 98	(254) Es 99	(257) Fm 100	(258) Md 101	(259) No 102	(260) Lr 103