

EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES CLASSIQUES
Sessions 2023 – QUESTIONNAIRE ÉCRIT

Date :	19.09.23	Durée :	08:15 - 11:15	Numéro candidat :	
Discipline :	Physique		Section(s) :	CB / CB-4LANG / CC / CC-4LANG	

I. Etude d'un satellite GPS (12)

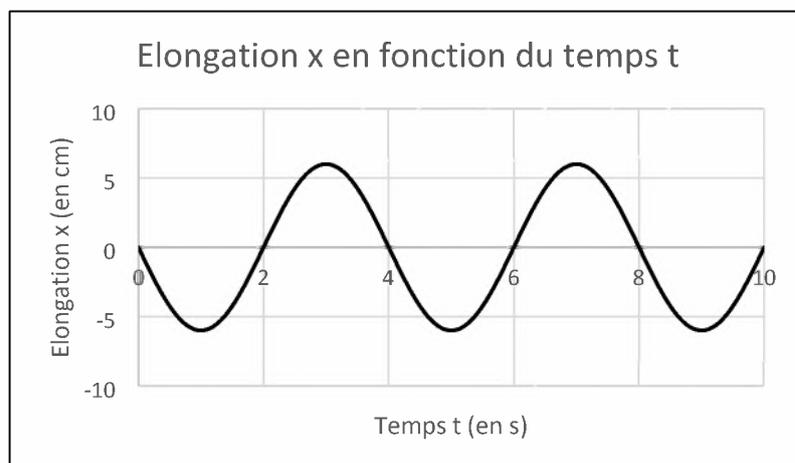
Les satellites GPS (**G**lobal **P**ositioning **S**ystem), initialement conçus pour un usage militaire, sont de nos jours utilisés dans d'innombrables applications civiles. Les développeurs de ce système ont d'ailleurs été décorés en 2019 par le « Queen Elizabeth Prize for Engineering ».

Nous allons analyser de plus près l'orbite, supposée circulaire, d'un tel satellite évoluant à une altitude z dans le champ de gravitation de la Terre.

- 1) Établir l'expression de la norme de la vitesse v du satellite en fonction de la masse M et du rayon R de la Terre et de l'altitude du satellite z . En déduire l'expression de la période de révolution du satellite. (6)
- 2) Dans le référentiel géocentrique, les satellites GPS effectuent deux tours sur leur orbite pendant que la Terre effectue une rotation entière autour de son axe. Déterminer à partir de cette information l'altitude à laquelle doit être placé un tel satellite ainsi que sa vitesse linéaire. (4)
- 3) Pour assurer une meilleure réception du signal, on place 4 satellites de masses légèrement différentes à des endroits différents sur une même orbite. On néglige toute interaction mis à part la gravitation terrestre.
Y a-t-il un risque que les satellites vont un jour entrer en collision ? Justifier ! (2)

II. Oscillateur mécanique (16)

Un oscillateur mécanique est formé d'un solide de masse m fixé à un ressort de raideur k et coulissant sans frottement le long d'une tige horizontale. La position d'équilibre du centre d'inertie du solide coïncide avec l'origine de l'axe des x . Voici l'enregistrement obtenu de l'élongation x en fonction du temps :



- 1) Établir l'équation différentielle régissant l'élongation de l'oscillateur. (4)
- 2) Proposer une solution de cette équation et vérifier sous quelle condition elle est valable. (3)
- 3) Déterminer à l'aide du graphique les valeurs numériques des paramètres de l'équation horaire et préciser leurs noms. Décrire textuellement les conditions initiales de l'expérience. (4)
- 4) Sachant que l'oscillateur a été mis en mouvement en lui communiquant une énergie mécanique de 2,5 mJ, déterminer la raideur du ressort ainsi que la masse oscillante. (3)
- 5) Déterminer la vitesse maximale et l'accélération maximale de l'oscillateur. (2)

III. Dualité onde-corpuscule (16)

- 1) Pour chaque aspect de la lumière (ondulatoire et corpusculaire) : (3 + 3)
 - citer une expérience qui permet d'illustrer cet aspect
 - expliquer brièvement ce qu'on observe dans cette expérience et en quoi cela met en évidence cet aspect de la lumière
- 2) Une plaque de césium est illuminée par un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde 480 nm.
 - a. Calculer en km/s la vitesse de sortie d'un électron de cette plaque, sachant que le travail de sortie du césium vaut 2,14 eV. (3)
 - b. On constate que $2,42 \cdot 10^{16}$ électrons sont émis par seconde. En supposant que l'effet photoélectrique se fait avec un rendement de 100%, déterminer la puissance de la source lumineuse. (2)
 - c. Calculer la longueur d'onde seuil à partir de laquelle l'effet photoélectrique est observable. S'agit-il d'une valeur maximale ou minimale ? Expliquer ! (2)
 - d. On double maintenant la puissance de la lumière incidente tout en gardant la même longueur d'onde. Comment vont varier la vitesse de sortie des électrons et le nombre d'électrons émis par seconde ? Motiver le raisonnement. (3)

IV. Relativité restreinte (16)

Dans leur expérience de 1963, Smith et Frisch ont étudié des muons pour mettre en évidence la dilatation du temps. Les muons sont des particules élémentaires semblables aux électrons, mais instables. En effet, dans un référentiel dans lequel les muons sont au repos, on mesure une demi-vie de 2,2 μ s. Dans leur expérience par contre, les chercheurs constatent que la demi-vie mesurée dans leur référentiel est 10 fois plus élevée.

- 1) Expliquer ce qu'on entend par durée propre et durée impropre. (2)
- 2) Établir l'expression reliant ces deux durées à partir d'une expérience par la pensée. Expliquer clairement le raisonnement à la base de ce développement. (5)
- 3) Décrire qualitativement l'expérience des muons selon Frisch et Smith. Expliquer comment la dilatation du temps permet de valider les résultats de cette expérience. (4)
- 4) Déterminer la vitesse des muons qu'ils ont détectés ainsi que leur énergie cinétique, exprimée en MeV. On donne la masse au repos d'un muon : $m_{\mu} = 1,884 \cdot 10^{-28}$ kg (5)

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	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
Constante de gravitation	K (ou G)	$6,673 \cdot 10^{-11}$	$\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
Constante électrique pour le vide	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$8,988 \cdot 10^9$	$\text{N m}^2 \text{C}^{-2}$
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	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$8,854 \cdot 10^{-12}$	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)	Symbole	Valeur utilisée sauf indication contraire	Unité
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 $= 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
 1 électronvolt $= 1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
 1 unité de masse atomique $= 1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$

Formules trigonométriques

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \sin(\pi - x) &= \sin x \\ \cos(\pi - x) &= -\cos x \\ \tan(\pi - x) &= -\tan x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin(\pi + x) &= -\sin x \\ \cos(\pi + x) &= -\cos x \\ \tan(\pi + x) &= \tan x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin(-x) &= -\sin x \\ \cos(-x) &= \cos x \\ \tan(-x) &= -\tan x \end{aligned}$$

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

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

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

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

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} - x\right) = \cotan x$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\tan 2x = \frac{2 \tan x}{1 - \tan^2 x}$$

$$\sin 3x = 3 \sin x - 4 \sin^3 x$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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