Olympiades Suisses de Physique

Sélection préliminaire

Lausanne, 16 janvier 2013

Première partie : QCM – 16 questions
Deuxième partie : Problèmes – 3 questions

Moyens autorisés : Calculatrice sans base de données
Matériel pour écrire et dessiner

Bonne chance !

Supported by :
Alpiq AG
Staatssekretariat für Bildung und Forschung
BASF (Basel)
Deutschschweizerische Physikkommission VSMP / DPK
Materials Science & Technology
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
ETH Zurich Department of Physics
Fondation Claude & Giuliana
Ernst Göhner Stiftung, Zug
Hasler Stiftung, Bern
Merck Serono S.A. (Genf)
Metrohm Striftung, Herisau
Neue Kantonsschule Aarau
Novartis International AG (Basel)
Quantum Science and Technology
F. Hoffmann-La Roche AG (Basel)
Schnelli Thermographie, Schaffhausen
Société Valaisanne de Physique
Swiss Academy of Engineering Sciences SATW
Swiss Academy of Sciences
Swiss Physical Society
Syngenta AG
Universität Bern FB Physik/Astronomie
Universität Zürich FB Physik Mathematik

Question 1

Pour un électron, le rapport $\left|\frac{q}{m}\right|$ entre sa charge q et sa masse m est

a) zéro

b) le même que pour un proton

c) le même que pour un neutron

d) plus grand que pour un proton

e) plus petit que pour un proton

Question 2

En exploration sur une autre planète, un astronaute a fabriqué un pendule au moyen d'une sphère en métal et d'une ficelle. En mesurant la période du pendule et la longueur de la ficelle, il peut alors déterminer :

a) la durée d'un jour

b) la masse de la sphère métallique

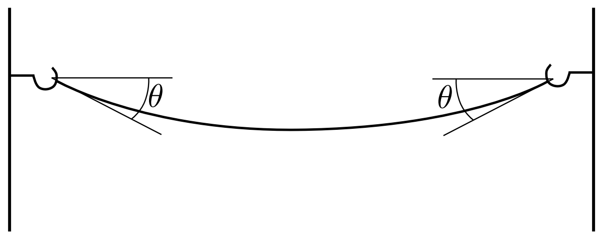
c) le moment d'inertie de la sphère métallique

d) l'accélération de la pesanteur

e) la distance à la Terre

Question 3

Une corde de masse m est suspendue à deux crochets fixés à la même hauteur (voir dessin). A ses points d'attache, elle forme un angle θ avec l'horizontale. Quelle est la tension de la corde à son point le plus bas?



a) 0

b) $\frac{mg}{2}$

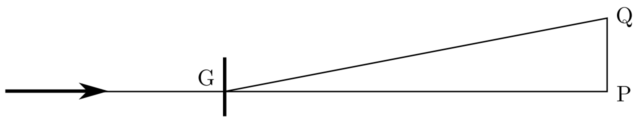
c) $\frac{mg}{2\tan\theta}$

d) $mg\cos\theta$

e) $\frac{mg}{\sin\theta}$

Question 4

De la lumière monochromatique atteint perpendiculairement un réseau de diffraction G. Sur l'écran situé à l'arrière, le maximum central se trouve au point P et un maximum de premier ordre au point Q. L'angle $\widehat{\mathrm{PGQ}}$ est petit (voir dessin). Comment varie la distance entre P et Q sur l'écran quand le réseau de diffraction rétrécit dans toutes les dimensions de 1%?



a) Il augmente de 1%

b) Il augmente de 0.5%

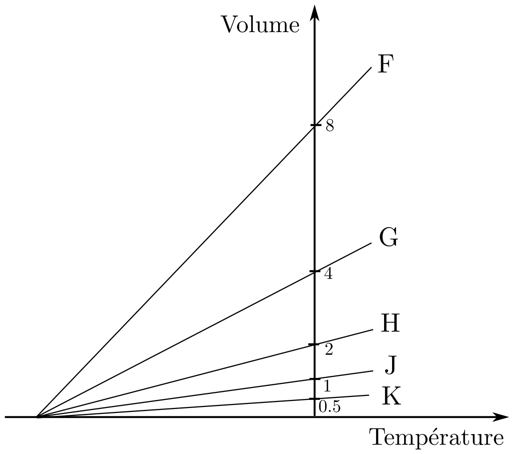
c) Il ne varie pas

d) Il diminue de 0.5%

e) Il diminue de 1%

Question 5

Une quantité de gaz parfait de masse m subit une expansion à pression constante p. La droite H du graphique indique cette expansion. Par quelle droite est représentée l'expansion d'une masse $2m$ du même gaz, à pression constante $\frac{p}{2}$?



a) Droite F

b) Droite G

c) Droite H

d) Droite J

e) Droite K

Question 6

On jette une pierre vers le haut. La pierre atteint la hauteur maximale h au temps t. A quelle hauteur se trouvait-elle au temps $\frac{t}{2}$? (On peut négliger la résistance de l'air)

a) $\frac{h}{4}$

b) $\frac{h}{3}$

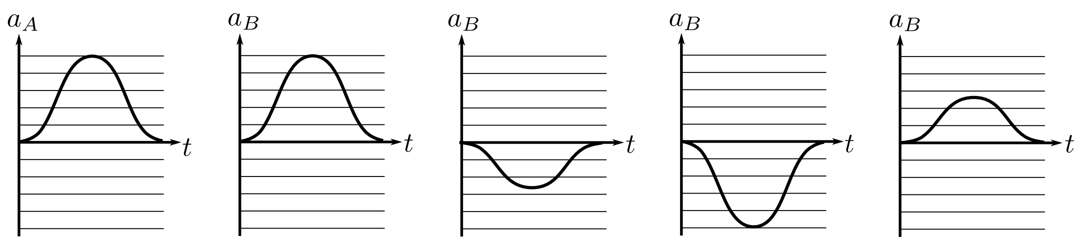
c) $\frac{h}{2}$

d) $\frac{2h}{3}$

e) $\frac{3h}{4}$

Question 7

Deux objets A et B entrent en collision. B a une masse double de celle de A. L'image de gauche montre l'évolution temporelle de l'accélération de A. Lequel des quatre autres graphiques montre l'évolution temporelle de l'accélération pour B ?



a) b) c) d)

Question 8

Dans une salle de classe normale, le nombre de molécules d'air est approximativement :

a) 10^9

b) 10^{15}

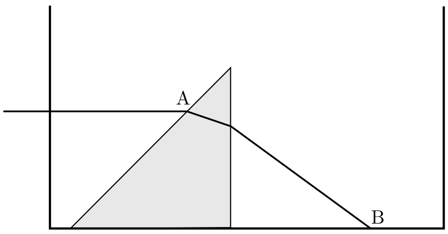
c) 10^{23}

d) 10^{28}

e) 10^{35}

Question 9

Un prisme en verre est placé au fond d'un récipient (cf image). Un rayon lumineux arrive par la gauche et rencontre le prisme au point A, est réfracté et touche le fond du récipient au point B. On remplit à présent le récipient avec de l'eau, de sorte que le prisme soit entièrement recouvert par l'eau. L'indice de réfraction du verre est plus grand que celui de l'eau. Dans ce cas :



a) Le rayon lumineux arrive à nouveau au point B.

b) Le rayon lumineux arrive entre le point B et le prisme.

c) Le rayon lumineux est moins réfracté et arrive plus loin que le point B.

d) Le rayon lumineux est totalement réfléchi au point A.

e) Aucune de ces réponses

Question 10

Une pive et un gland tombent au même moment vers le sol. La vitesse initiale est nulle et la résistance de l'air est négligée. La pive tombe d'une hauteur 3 fois plus élevée que le gland et met un temps T pour atteindre le sol. Combien de temps met ainsi le gland pour toucher le sol ?

a) $\frac{T}{3}$

b) $\frac{T}{\sqrt{3}}$

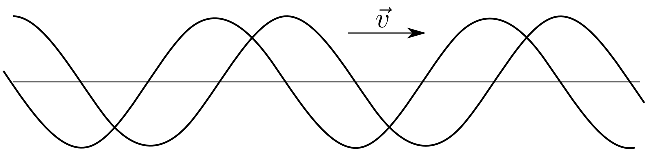
c) $T\sqrt{3}$

d) $3T$

e) aucune de ces réponses

Question 11

La figure montre deux ondes de même amplitude X et même longueur d'onde λ qui se propagent dans la même direction. La première onde a une avance d'un quart de longueur d'onde par rapport à la deuxième. Que peut-on dire sur l'amplitude de l'onde résultante?



a) Elle vaut 0

b) Elle vaut $2X$

c) Elle se situe entre 0 et X

d) Elle se situe entre X et $2X$

e) Elle se situe entre $2X$ et $3X$

Question 12

Une source radioactive possède une demie-vie d'une heure. Combien de temps faut-il approximativement attendre pour que son activité soit $\frac{1}{30}$ de la valeur initiale ?

a) 3 heures

b) 5 heures

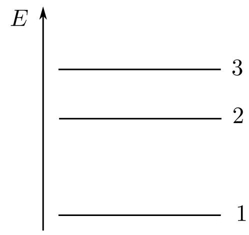
c) 15 heures

d) 30 heures

e) aucune de ces réponses

Question 13

Le schéma ci-contre montre les niveaux d'énergie d'un certain atome. La différence d'énergie entre le niveau 1 et le niveau 2 est le double de celle entre les niveaux 2 et 3. Lorsqu'un électron retombe du niveau 3 au niveau 2, un photon de longueur d'onde λ est alors émis.



Quelle(s) autre(s) longueur(s) d'onde résulte(nt) des transitions entre les trois niveaux d'énergie ?

a) seulement $\frac{\lambda}{2}$

b) $\frac{\lambda}{2}$ et $\frac{\lambda}{3}$

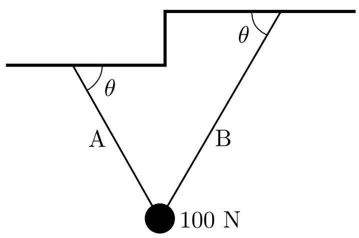
c) seulement 2λ

d) 2λ et 3λ

e) aucune de ces réponses

Question 14

Une sphère avec un poids de 100 N est retenue par deux cordes, comme dessiné sur le schéma. Que peut-on dire concernant la tension de ces cordes ?



a) La tension des deux cordes vaut 50 N

b) La tension des deux cordes est identique et vaut moins de 50 N

c) La tension des deux cordes est identique et vaut plus de 50 N

d) La tension de la corde A et plus élevée que celle de la corde B

e) La tension de la corde A et moins élevée que celle de la corde B

Question 15

On considère deux étoiles A et B. Le rayon de l'étoile A est deux fois plus grand que celui de B. La température de surface de A est deux fois plus grande que celle de B. Le rapport entre l'énergie du rayonnement des deux étoiles $\frac{P_A}{P_B}$ vaut:

a) 4

b) 8

c) 16

d) 32

e) 64

Question 16

Chaque fois qu'un cycliste fait un tour complet avec la pédale, il accomplit un travail de 200 J. Le vélo s'est de plus déplacé de 5 m. La masse totale du vélo et du cycliste est de 100 kg. L'accélération est alors de :

a) $0.10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) $0.25\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

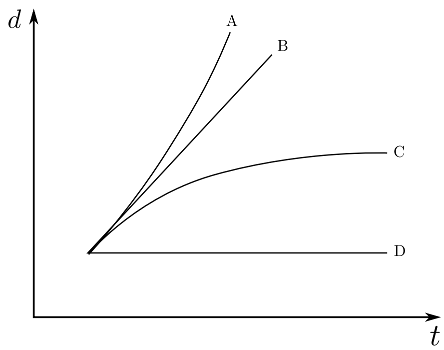
c) $0.40\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

d) $0.80\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

e) $1.25\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Question 17

Deux blocs de même masse glissent le long d'une rampe avec la même accélération constante. Le premier bloc part au temps $t = 0$, le second bloc 1 s plus tard, depuis le même endroit. Quelle courbe représente le mieux la distance d entre les deux blocs en fonction du temps t ?



a) Courbe A

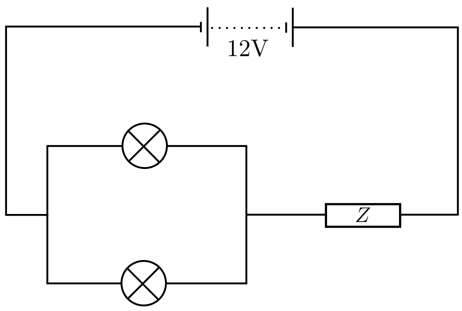
b) Courbe B

c) Courbe C

d) Courbe D

Question 18

Les deux lampes montées en parallèle dans le circuit illustré ci-dessous ont chacune une résistance R. Normalement elles sont montées en série et connectées à une source de tension de 6 V. A combien doit se monter la résistance Z pour que les lampes brillent avec la même intensité que dans leur montage en série habituel?



a) $\frac{R}{2}$

b) R

c) $\frac{3R}{2}$

d) $\frac{7R}{2}$

e) 0

Question 19

Si l'on double l'intensité du courant dans un long solénoïde et si l'on double aussi sa longueur en gardant le même nombre total de tours, le champ magnétique intérieur au solénoïde

a) devient quatre fois plus grand

b) devient deux fois plus petit

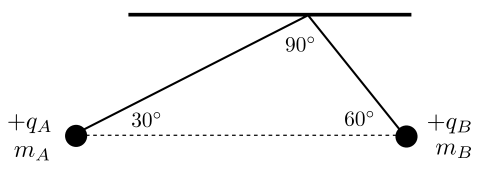
c) reste inchangé

d) est divisé par quatre

e) aucune de ces réponses

Question 20

Deux sphères avec des charges positives q_A et q_B sont attachées à de fins fils, comme sur le schéma. Les angles du triangle ainsi obtenu sont de 30, 60 et 90 degrés. Les sphères ont des masses m_A et m_B. Déterminez le rapport des masses :



a) $\frac{m_B}{m_A} = \sqrt{3}$

b) $\frac{m_B}{m_A} = \frac{1}{\sqrt{3}}$

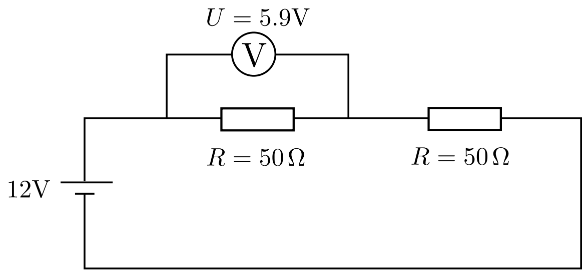
c) $\frac{m_B}{m_A} = 3$

d) $\frac{m_B}{m_A} = \frac{1}{3}$

e) $\frac{m_B}{m_A} = 1$

Question 21

Le schéma représente un circuit avec deux résistances identiques de chacune 50 Ω. La source de tension fourni une tension constante continue de 12 V. Le voltmètre indique 5.9 V aux bornes d'une résistance. Quelle est la résistance interne du voltmètre ?



a) 0 Ω

b) 50 Ω

c) 1.5 kΩ

d) 3 kΩ

e) ∞

Question 22

Le boson de Higgs permet d'expliquer

a) l'origine de la charge électrique des particules

b) l'origine de la masse des particules

c) l'origine du poids des particules

d) l'origine du spin des particules

e) aucune de ces réponses

Questions à choix multiples : feuille-réponse

Durée : 60 minutes
Cotation : 16 points (1 point par réponse correcte)
Donnez vos réponses dans les cases prévues à cet effet sur cette page.
Chaque question n'admet qu'une seule réponse correcte.

Répondez à **16 questions** sur les 22 posées. Indiquez d'une croix dans la case correspondante les 6 questions que vous ne désirez pas inclure dans l'évaluation. Si vous choisissez moins de 6 questions à ne pas évaluer, nous retirerons un nombre correspondant de réponses justes.

Nom	:
Prénom	:
Total	:

	a)	b)	c)	d)	e)	Ne pas évaluer
Question 1	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 2	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 3	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 4	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 5	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 6	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 7	☐	☐	☐	☐		☐
Question 8	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 9	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 10	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 11	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 12	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 13	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 14	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 15	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 16	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 17	☐	☐	☐	☐		☐
Question 18	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 19	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 20	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 21	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Question 22	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Problèmes théoriques

Durée : 120 minutes
Cotation : 48 points

Commencez chaque problème sur une nouvelle feuille afin de faciliter la correction.

Constantes fondamentales

Vitesse de la lumière dans le vide	c	$=$	$299\,792\,458\,\mathrm{m{\cdot}s^{-1}}$
Perméabilité du vide	μ_0	$=$	$4\pi \times 10^{-7}\,\mathrm{kg{\cdot}m{\cdot}A^{-2}{\cdot}s^{-2}}$
Permittivité du vide	ε_0	$=$	$8.854\,187\,817\ldots \times 10^{-12}\,\mathrm{A^2{\cdot}s^4{\cdot}kg^{-1}{\cdot}m^{-3}}$
Constante de Planck	h	$=$	$6.626\,069\,57 \times 10^{-34}\,\mathrm{kg{\cdot}m^2{\cdot}s^{-1}}$
Charge élémentaire	e	$=$	$1.602\,176\,565\,(35) \times 10^{-19}\,\mathrm{A{\cdot}s}$
Constante gravitationnelle	G	$=$	$6.673\,84\,(80) \times 10^{-11}\,\mathrm{m^3{\cdot}kg^{-1}{\cdot}s^{-2}}$
Accélération de la pesanteur	g	$=$	$9.81\,\mathrm{m{\cdot}s^{-2}}$
Nombre d'Avogadro	N_A	$=$	$6.022\,141\,29\,(27) \times 10^{23}\,\mathrm{mol^{-1}}$
Constante de Boltzmann	k_B	$=$	$1.380\,648\,8\,(13) \times 10^{-23}\,\mathrm{J{\cdot}K^{-1}}$
Constante de Stefan-Boltzman	σ	$=$	$5.670\,373\,(21) \times 10^{-8}\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-4}}$
Masse de l'électron	m_e	$=$	$9.109\,382\,6\,(16) \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$
Masse du proton	m_p	$=$	$1.672\,621\,71\,(29) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
Masse du neutron	m_n	$=$	$1.674\,927\,28\,(29) \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$

Problème 1 : Electromagnétisme *(16 points)*

Partie A. Electricité (10 points)

On considère une plaque conductrice dans le plan $z = 0$ et une charge positive ponctuelle Q à la position $(x, y, z) = (0, 0, h)$. Pour déterminer le champ électrique créé par cette charge, on peut utiliser la méthode des charges images : on imagine que la plaque a disparu et est remplacée par une charge $-Q$ située à la position $(0, 0, -h)$.

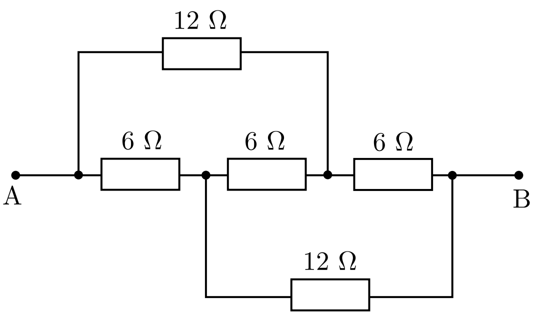
i. (5 pts) Calculez à l'aide de la méthode des charges images le champ électrique qui règne en un point quelconque à la surface de la plaque conductrice. Discutez la direction du champ que vous obtenez. Pouvait-on s'attendre à un tel résultat sans effectuer de calcul?

ii. (3 pts) Calculez le travail nécessaire pour amener la charge Q jusqu'à la position $(0, 0, 2h)$.

iii. (2 pts) Calculez le travail nécessaire pour amener la charge Q jusqu'à une distance infinie de la plaque conductrice depuis la position $(0, 0, h)$.

Partie B. Circuits (6 points)

i. (6 pts) Calculez la résistance équivalente entre les points A et B du circuit ci-dessous. *Indication*: Songez à utiliser les lois de Kirchhoff.



Problème 2 : Le voyage interplanétaire de Curiosity *(16 points)*

Le rover Curiosity de la mission Mars Science Laboratory (MSL) a fait la une des médias l'an dernier en effectuant un atterrissage spectaculaire puis en envoyant des images sans précédant de la planète rouge. On étudiera dans ce problème la partie facile de son voyage interplanétaire.

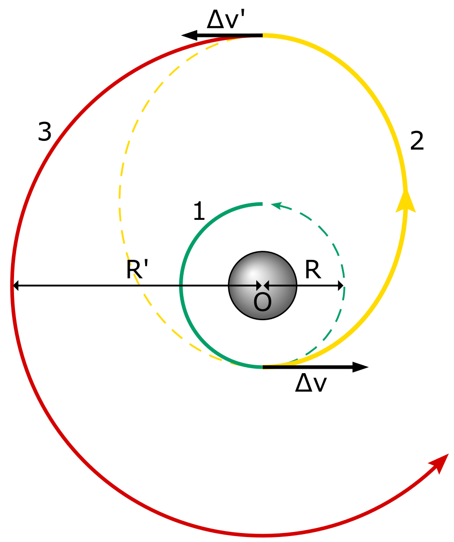
L'énergie mécanique totale d'un système gravitationnel constitué d'un corps de masse m et d'un autre corps de masse M qui orbitent l'un autour de l'autre est donnée par

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}Mv_M^2 - \frac{GMm}{r} = -\frac{GMm}{2a},$$

où r est la distance entre les centres de masses de ces deux corps à un instant donné et a est la moyenne temporelle de r. Dans le cas où $m \ll M$, on peut négliger le deuxième terme, et la trajectoire du corps de masse m décrit essentiellement une orbite elliptique dont un des foyers est occupé par le corps de masse M et dont le demi-grand axe vaut a. De plus, la troisième loi de Kepler stipule que la carré de la période orbitale T du petit corps est proportionnel au cube du demi-grand axe de l'ellipse,

$$T^2 \propto a^3.$$

D'une fois qu'un vaisseau spatial, par exemple celui de la mission MSL, a échappé à l'attraction terrestre et se trouve sur la même orbite que la Terre autour du Soleil, une orbite pratiquement circulaire, on peut lui faire rejoindre l'orbite de Mars en le plaçant sur "une orbite de transfert", une orbite excentrée qui joint les deux orbites circulaires de la Terre et de Mars. La solution la plus économique (en termes de carburant) est donnée par les orbites de Hohmann (voir dessin) qui sont des ellipses excentrées tangentes (plutôt que sécantes) aux deux orbites planétaires (de rayon R et R' respectivement). Cette solution implique deux impulsions instantanées ou presque (grâce à des moteurs qui fournissent une grande poussée très rapidement) qui se traduisent en des variations de vitesse Δv et $\Delta v'$ pour d'abord quitter l'orbite de la Terre et ensuite injecter le vaisseau dans l'orbite de Mars.



Dans ce problème on négligera tous les aspects liés à l'attraction de la Terre et de Mars pour se concentrer sur l'orbite de transfert de Hohmann uniquement. En réalité, MSL a dû aussi quitter la Terre au début de son voyage et se mettre en orbite autour de Mars à la fin, deux phases relativement compliquées du point de vue de la navigation spatiale.

Pour les calculs numériques, on aura besoin de la distance Terre-Soleil, $R = 1\,\mathrm{UA} = 149 \times 10^6\,\mathrm{km}$, et de la distance Mars-Soleil, $R' = 1{,}5\,\mathrm{UA}$.

i. (1,5 pts) Donnez une formule algébrique pour la vitesse $v(r)$ d'un vaisseau spatial placé sur une orbite de demi-grand axe a autour du Soleil en fonction de sa distance r au centre du Soleil.

ii. (1,5 pts) Expliquez en quelques mots pourquoi il est plus économique de choisir une orbite de Hohmann plutôt qu'une orbite de transfert sécante à l'orbite de Mars.

iii. (1,5 pts) A quelles distances du Soleil se trouvent le périhélie (le point le plus proche du Soleil) et l'aphélie (le plus éloigné) d'une orbite de transfert de Hohmann entre la Terre et Mars? Quel est le demi-grand axe de cette orbite?

iv. (6 pts) Donnez des formules algébriques pour les variations Δv et $\Delta v'$ liées aux injections orbitales sur l'orbite de Hohmann d'abord et sur l'orbite de Mars ensuite. Calculez ensuite les variations relatives de vitesses associées.

v. (4 pts) Calculez la durée du trajet entre les orbites de la Terre et de Mars le long d'une orbite de Hohmann.

vi. (1,5 pts) Expliquez en quelques mots pourquoi la fenêtre de lancement (la période pendant laquelle on peut lancer une mission) de la mission MSL ne dura qu'une vingtaine de jours.

Problème 3 : Balle de fusil *(16 points)*

Remarque : les deux parties de cet exercice sont indépendantes et peuvent être résolues séparément

Partie A. Vitesse de balle (9 points)

On veut mesurer la vitesse d'une balle, on procède comme suit : on crée un dispositif décrit à la figure 1. Ce dispositif peut être simplifié par le circuit électrique de la figure 2. Les sections en $S1$ et $S2$ sont des fils tendus dans un cadre et disposés sur la trajectoire de la balle de manière à ce qu'ils soient coupés par la balle, la distance d entre les deux cadres est connue ainsi que les valeurs de tension U_0, de résistance R et de capacité C. La masse m de la balle est également connue ainsi que la valeur de la tension U_C une fois que la balle a traversé $S2$.

i. (0.5 pts) Quelle quantité vous manque-t-il pour pouvoir déterminer la vitesse de la balle ?

ii. (3 pts) Expliquez comment obtenir cette quantité avec le dispositif expérimental décrit ici.
Si vous ne savez pas, expliquez le phénomène de décharge d'un condensateur [2.25 points]

iii. (4.5 pts) Donnez l'expression de la vitesse de la balle en fonction de U_0, U_C, R, C et d.

iv. (1 pt) – A part l'erreur sur la mesure de d, décrivez une source possible d'erreur induite par le dispositif expérimental, indiquez aussi comment la minimiser.

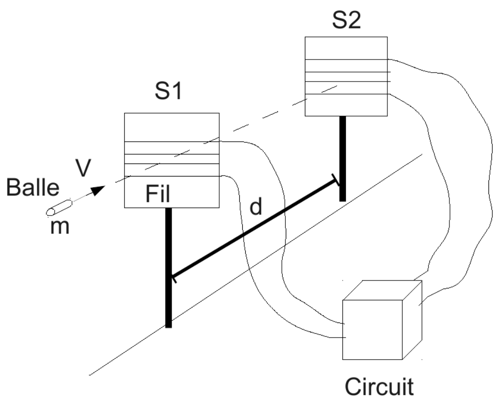


Fig 1 - Le circuit est expliqué dans la figure 2

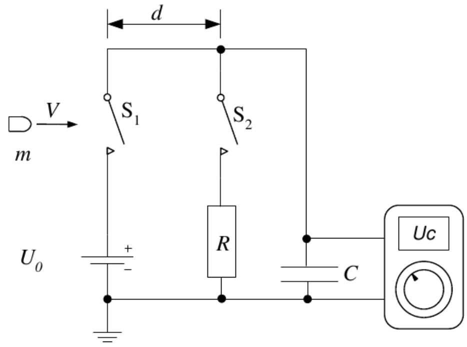


Fig 2 - La tension U_C est mesurée par un multimètre digital qui affiche la valeur de la tension.

Partie B. Impact de balle (7 points)

La balle possède une vitesse v, connue. Pour stopper sa course on va placer une plaque en acier le long de sa trajectoire, on suppose qu'un pourcentage η de son énergie se transforme en chaleur.

i. (1.5 pts) Comment savoir si la balle va fondre ?

ii. (1.5 pts) En supposant qu'elle fonde, quelle fraction $\mu = \frac{m_{\text{fondue}}}{m}$ de sa masse va fondre ?

iii. (1.5 pts) Déterminez la vitesse que la balle doit avoir pour commencer à fondre, et pour qu'elle fonde entièrement.

iv. (1 pt) En supposant que l'énergie restante $(1-\eta)$ est transférée à la plaque sous forme de chaleur, quelle est alors la température du point d'impact après le choc ?

v. (1.5 pts) Pourquoi la balle fond-elle alors que la plaque ne s'échauffe que très peu ?

Indications :
La balle est en plomb de masse $m = 4\,\text{g}$ et possède une vitesse de $v = 305\,\text{m·s}^{-1}$. Les valeurs de densités du plomb et de l'acier sont $\rho_p = 11300\,\text{kg·m}^{-3}$ et $\rho_a = 7850\,\text{kg·m}^{-3}$, les chaleurs massiques sont $c_p = 120\,\text{J·kg}^{-1}\text{·K}^{-1}$ et $c_a = 460\,\text{J·kg}^{-1}\text{·K}^{-1}$ et la chaleur latente de fusion du plomb est $L_p = 2500\,\text{J·kg}^{-1}$ ainsi que sa température de fusion $T_p = 327.5\,°\text{C}$. La température de l'air, de la balle et de la plaque est $T_0 = 25\,°\text{C}$. Le pourcentage d'énergie transformée en chaleur est $\eta = 80\,\%$. Les valeurs numériques ne sont à remplacer qu'à la toute fin de vos calculs, exprimez d'abord vos résultats sous forme algébrique!

MC : solution

	a)	b)	c)	d)	e)
Question 1	☐	☐	☐	■	☐
Question 2	☐	☐	☐	■	☐
Question 3	☐	☐	■	☐	☐
Question 4	■	☐	☐	☐	☐
Question 5	■	☐	☐	☐	☐
Question 6	☐	☐	☐	☐	■
Question 7	☐	■	☐	☐	
Question 8	☐	☐	☐	■	☐
Question 9	☐	☐	■	☐	☐
Question 10	☐	■	☐	☐	☐
Question 11	☐	☐	☐	■	☐
Question 12	☐	■	☐	☐	☐
Question 13	☐	■	☐	☐	☐
Question 14	☐	☐	■	☐	☐
Question 15	☐	☐	☐	☐	■
Question 16	☐	☐	■	☐	☐
Question 17	☐	■	☐	☐	
Question 18	☐	☐	■	☐	☐
Question 19	☐	☐	■	☐	☐
Question 20	☐	☐	■	☐	☐
Question 21	☐	☐	■	☐	☐
Question 22	☐	■	☐	☐	☐

Problèmes théoriques

Durée : 120 minutes
Cotation : 48 points

Problème 1 : Electromagnétisme *(16 points)*

Partie A. Electricité (10 points)

i. (5 pts) $E_z(x,y,z=0) = -\frac{2}{4\pi\epsilon_0}\frac{Qh}{(h^2+r^2)^{3/2}}$ (4,5 pts) où $r = \sqrt{x^2+y^2}$. Le champ est perpendiculaire à la plaque conductrice. On pouvait le savoir avant d'effectuer un calcul comme le potentiel électrique est constant dans un conducteur, ce qui garantit qu'à sa surface, le champ électrique y est perpendiculaire (0,5 pt).

ii. (3 pts) La force électrostatique exercée par la plaque sur la charge vaut $F_{el,z}(z) = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q^2}{(2z)^2}$ (1 pt). On doit donc appliquer une force opposée pour amener la charge de la position $z = h$ à la posistion $z = 2h$, dont le travail vaut $W = \int_h^{2h} \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q^2}{4z^2}dz = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0}\frac{-1}{4z}\Big|_h^{2h} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q^2}{8h}$ (2 pts).

iii. (2 pts) Dans ce cas, il faut intégrer jusqu'à $+\infty$, et on obtient $W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q^2}{4h}$ (2 pts).

Notez qu'on peut arriver aux mêmes résultats par des considérations d'énergie potentielle qui évitent le calcul d'intégrales.

Partie B. Circuits (6 points)

i. (6 pts) On suppose qu'un courant I_4 traverse la résistance de $12\,\Omega$ du haut, I_1, I_2 et I_3 de gauche à droite celles de $6\,\Omega$ et I_5 celle de $12\,\Omega$ du bas, tous de gauche à droite. Par la loi des noeuds de Kirchhoff, on a $I = I_1 + I_4 = I_3 + I_5$, $I_1 = I_2 + I_5$ et $I_3 = I_2 + I_4$, et par celle des boucles $U = U_1 + U_2 + U_3 = R(I_1 + I_2 + I_3)$, $2RI_4 = U_4 = U_1 + U_2 = R(I_1 + I_2)$ et $2RI_5 = R(I_2 + I_3)$ (2 pts).

On peut résoudre le système d'équations linéaires et trouver par exemple $I = \frac{11}{2}I_2$ et $U = 7RI_2$, ce qui donne une résistance équivalente $R_{eq} = \frac{U}{I} = \frac{14}{11}R$ (2 pts), pour une valeur numérique de $R_{eq} = 7,6\,\Omega$ (1 pt).

Problème 2 : Le voyage interplanétaire de Curiosity *(16 points)*

i. (1,5 pts) $v = \sqrt{GM\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}$ (1,5 pts pour la formule correcte, 0 sinon)

ii. (1,5 pts) L'aphélie d'une orbite sécante serait situé plus loin du Soleil que l'orbite de Mars et demande plus d'énergie pour être atteint.

iii. (1,5 pts) $d_{H,\text{peri}} = R$, $d_{H,\text{aph}} = R'$, $a_H = \frac{1}{2}(R + R')$ (0,5 pt par réponse)

iv. (6 pts)

Orbite de la Terre: $a_T = R \Rightarrow v_T = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ (0,5 pt)

Orbite de Mars: $a_T = R' \Rightarrow v_M = \sqrt{\frac{GM}{R'}}$ (0,5 pt)

Les variations de vitesses recherchées sont respectivement $\Delta v = v_{H,\text{peri}} - v_T$ (0,5 pt) et $\Delta v' = v_M - v_{H,\text{aph}}$ (0,5 pt)

En utilisant le résultat de i., on trouve

$$\Delta v = \sqrt{\frac{GM}{R}}\left(\sqrt{\frac{2R'}{R+R'}} - 1\right) \quad (1\,\text{pt})$$

$$\Delta v' = \sqrt{\frac{GM}{R'}}\left(1 - \sqrt{\frac{2R}{R+R'}}\right) \quad (1\,\text{pt})$$

(d'autres expressions équivalentes sont évidemment possibles; 0 pt si elles sont fausses)

Les variations relatives sont

$$\frac{\Delta v}{v_T} = \sqrt{\frac{2R'}{R+R'}} - 1 = 9,5\% \quad (1\,\text{pt})$$

$$\frac{\Delta v'}{v_{H,\text{aph}}} = \sqrt{\frac{R+R'}{2R}} - 1 = 12\% \quad (1\,\text{pt})$$

(donner dans les deux cas 0,5 pt pour l'expression algébrique et 0,5 pt pour la valeur numérique)

v. (4 pts) Par la troisième loi de Kepler appliquée aux satellites du Soleil, on sait qu'il existe une constante α telle que la période de l'orbite de la Terre $T_T = 1$ an et celle de l'orbite de Hohmann T_H satisfont les relations

$$\begin{aligned} T_T^2 &= \alpha R^3 \quad (0,5\,\text{pt}) \\ T_H^2 &= \alpha\left(\tfrac{R+R'}{2}\right)^3 \quad (0,5\,\text{pt}), \end{aligned}$$

ce qui nous permet de trouver la période de l'orbite de Hohmann,

$$T_H = \frac{1}{2\sqrt{2}}\left(1 + \frac{R'}{R}\right)^{3/2} T_T \quad (1\,\text{pt})$$

La durée du trajet entre les orbites de la Terre et de Mars le long d'une orbite de Hohmann correspond à une demi-période, soit

$$\Delta t = \frac{1}{4\sqrt{2}}\left(1 + \frac{R'}{R}\right)^{3/2} T_T = 255\ \text{jours} \quad (1\,\text{pt})$$

(0,5 pt pour la formule algébrique et 0,5 pt pour la réponse numérique. Notez que techniquement on devrait la donner à seulement deux chiffres significatifs, $2,6 \times 10^2$ jours)

vi. (1,5 pts) Comme le vaisseau atteindra son aphélie environ 260 jours après son lancement et ensuite reviendra vers son point de départ, il faut que Mars soit dans les parages s'il ne veut pas manquer son rendez-vous.

Problème 3 : Balle de fusil *(16 points)*

Partie A. Vitesse de balle (9 points)

i. (0.5 pts) Quelle quantité vous manque-t-il pour pouvoir déterminer la vitesse de la balle?

Le temps τ qu'elle met pour aller de $S1$ à $S2$.

ii. (3 pts) Expliquez comment obtenir cette quantité avec le dispositif expérimental décrit ici.
Si vous ne savez pas, expliquez le phénomène de décharge d'un condensateur **[2.25pts]**

Lorsque la balle sectionne le fil en $S1$, elle va isoler le circuit RC et laisser le condensateur se décharger dans la résistance. La tension aux bornes du condensateur évolue selon la loi

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \tag{1}$$

Quand la balle sectionne le fil en $S2$ elle va stopper la décharge du condensateur. Il suffit de mesurer la tension aux bornes du condensateur à ce moment là, grâce au voltmètre, pour déterminer durant combien de temps le condensateur s'est déchargé à l'aide de la loi (1). Ce temps correspond au temps de vol de la balle entre $S1$ et $S2$.

iii. (4.5 pts) Donnez l'expression de la vitesse de la balle en fonction de U_0, U_C R, C et d.

Soit τ le temps de vol entre $S1$ et $S2$, en posant $U_C = U(\tau)$ et utilisant la loi (1) on obtient

$$\frac{U_C}{U_0} = e^{-\frac{\tau}{RC}} \quad (1.5\,\text{pt})$$

En appliquant le logarithme des deux côtés on trouve

$$\ln\frac{U_0}{U_C} = \frac{\tau}{RC} \quad (1.5\,\text{pt})$$

Et finalement on obtient

$$\tau = RC\ln\frac{U_0}{U_C}$$

On utilise cette valeur pour calculer la vitesse

$$V = \frac{d}{\tau} = \frac{d}{RC\ln\frac{U_0}{U_C}} \quad (1.5\,\text{pt})$$

iv. (1 pt) A part l'erreur sur la mesure de d, décrivez une source possible d'erreur induite par le dispositif expérimental, indiquez aussi comment la minimiser.

Quand la balle coupe le fil elle a de grandes chances d'être freinée, en effet il faut un fil très fin, peu élastique et bien tendu de façon à ce qu'il casse nettement lorsqu'il est heurté par la balle.

Lorsque la balle a coupé $S1$ la résistance interne r_i du volmètre s'ajoute en parralèle à R. La résistance équivalente est donnée par $R_{eq} = \frac{Rr_i}{R + r_i}$ On peut minimiser cette erreur sur R en utilisant R_{eq} plutôt que R pour le calcul de τ ou en utilisant une résistance r_i très grande par rapport à R pour que $R_{eq} \simeq \frac{Rr_i}{r_i} = R$.

La décharge se revèle d'autant plus importante lorsque $S2$ est coupé, car le condensateur va se décharger dans r_i, il va donc être difficile de lire la valeur affichée sur le volmètre car elle changera sans arrêt, il convient de choisir une valeur de r_i très grande pour minimiser ce phénomène.

Partie B. Correction Impact de balle (16 points)

i. (1.5 pts) Comment savoir si la balle va fondre?

La chaleur transmise à la balle va contribuer à élever sa température selon la loi suivante

$$\Delta Q = mc_p(T_f - T_i) \quad (0.5\,\text{pt})$$

La balle va fondre si la quantité de chaleur est suffisante pour atteindre la température de fusion T_p du plomb, ie si :

$$T_f = \frac{\Delta Q}{mc_p} + T_i >= T_p$$

L'énergie sous forme de chaleur est égale à un pourcentage η de l'énergie de la balle, cette dernière ne possède que de l'énergie cinétique, on a donc

$$\Delta Q = \frac{\eta}{2}mv^2 \quad (0.5\,\text{pt})$$

En couplant les deux dernières relations on obtient

$$T_f = \frac{\eta}{2c_p}v^2 + T_i = 608K \quad (0.5\,\text{pt})$$

Cette température est plus grande que la température de fusion du plomb qui est de $600.5K$, la balle va donc commencer à fondre.

ii. (1.5 pts) En supposant qu'elle fonde, quelle fraction $\mu = \frac{m_{fondue}}{m}$ de sa masse va fondre?

Une fois que la balle a atteint sa température de fusion elle va passer de l'état solide à l'état liquide grâce à la quantité de chaleur restante

$$\begin{aligned} Q_{restante} &= \Delta Q - mc_p(T_p - T_i) \\ &= \frac{\eta}{2}mv^2 - mc_p(T_p - T_i) \quad (0.5\,\text{pt}) \end{aligned}$$

Cette chaleur va permettre la transformation de l'état solide à l'état liquide selon le relation suivante :

$$Q_{restante} = L_f m_{fondue} \quad (0.5\,\text{pt})$$

La quantité cherchée s'obtient donc en couplant les deux dernières relations

$$\mu = \frac{\frac{\eta}{2}v^2 - c_p(T_p - T_i)}{L_p} \quad (0.5\,\text{pt}) \qquad (2)$$

On trouve $\mu = 0.37$.

iii. (1.5 pts) Déterminez la vitesse que la balle doit avoir pour commencer à fondre, et pour qu'elle fonde entièrement.

Lorsque la balle commence à fondre $\mu = 0$ donc en reprenant la relation (2) on obtient

$$v = \sqrt{\frac{2c_p(T_p - T_0)}{\eta}} = 301\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$$

Lorsque la balle a fini de fondre $\mu = 1$,on trouve cette fois

$$v = \sqrt{\frac{2}{\eta}(c_p(T_p - T_0) + L_p)} = 311\,\text{m}\,\text{s}^{-1}$$

(0.5 pt par réponse algébrique, 0.5 pt pour les deux valeurs numériques)

iv. (1 pt) En supposant que l'énergie restante $(1-\eta)$ est transférée à la plaque sous forme de chaleur, quelle est alors la température du point d'impact après le choc?

La chaleur transmise par la balle va contribuer à élever sa température selon la loi suivante

$$\Delta Q = m_a c_a (T_f - T_i)$$

La chaleur à disposition est égale à l'énergie restante

$$\Delta Q = \frac{1-\eta}{2} m_p v^2$$

On ne connait pas m_a mais on peut comparer $\frac{m_p}{m_a} = \frac{\rho_p}{\rho_a}$.

La température finale est donc

$$T_f = \frac{1-\eta}{2c_a}\frac{\rho_p}{\rho_a}v^2 + T_0 = 327\,\text{K}$$

v. (1.5 pts) Pourquoi la balle fond-elle alors que la plaque ne s'échauffe que très peu?

La chaleur massique de l'acier est plus élevée que celle du plomb, il faut donc plus de chaleur pour échauffer la même masse.