PHYSIKSOLYMPIAD
LËTZEBUERG 2019

Demi-finale (FR)

26.02.2019

Consignes

- Le questionnaire comprend 5 questions de développement.
- Indiquez clairement à quelle sous-question vos répondez et notez votre nom sur chaque feuille
- Répondez aux questions en expliquant clairement vos démarches.

Recueil d'équations

Cinématique(MRUV)

$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$

$v = at + v_0$

$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

Forces

$F = ma$

$F_f \leq \mu N$

Travail, Énergie et Puissance

$W = Fd\cos\theta$

$E_{cin} = \frac{1}{2}mv^2$

$E_{pes} = mgh$

$E_{el} = \frac{1}{2}kx^2$

$P = \frac{W}{t} = Fv$

Quantité de mouvement

$p = mv$

$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

Calorimétrie

$Q = mc\Delta\theta$

$Q = mL$

Gaz idéal

$p = \frac{F}{A}$

$pV = nRT = Nk_BT$

$E_K = \frac{3}{2}k_BT$

Oscillations et ondes

$T = \frac{1}{f}$

$c = f\lambda$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Électricité

$I = \frac{Q}{t}$

$F = k \cdot \frac{q_1 q_2}{r_2}$

$U = \frac{W}{q}$

$E = \frac{F}{q}$

$U = RI$

$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R}$

$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}$

$\rho = \frac{RA}{L}$

Électro-magnétisme

$F = qvB\sin\theta$

$F = BIL\sin\theta$

Mouvement circulaire

$v = \omega r$

$a = \frac{v^2}{r}$

Gravitation

$F = G\frac{mM}{r^2}$

$g = \frac{F}{m}$

Physique quantique

$E = hf$

$\lambda = \frac{hc}{E}$

Optique

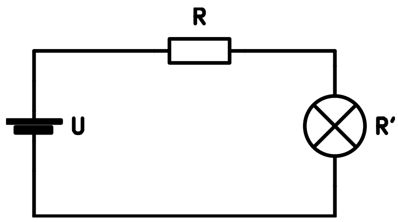
$n_1\sin\alpha_1 = n_2\sin\alpha_2$

$\frac{1}{q} + \frac{1}{p} = \frac{1}{f}$

Question 1: Électro-magnétisme (21P)

Les fournisseurs d'électricité, comme Creos par exemple, essaient de minimiser les pertes d'énergie électrique dans leur réseau. C'est la raison pour laquelle ils utilisent des lignes de haute tension pour transporter l'énergie sur de grandes distances.

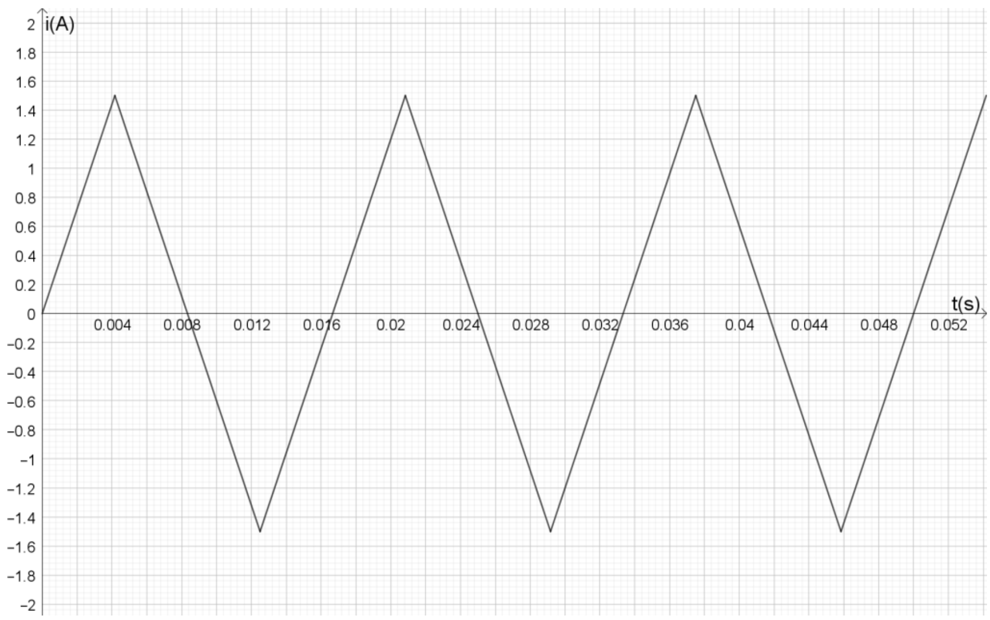
1. On modélise la ligne de haute tension par une résistance R, la centrale électrique par une source de tension continue U et la station de transformation par une lampe de résistance R'. Ces composants sont branchés en série. Donnez une relation entre R et R' afin de garantir des pertes de transport inférieures à 1% de la puissance fournie. Expliquez votre raisonnement. (4P)



2. Supposons que la lampe ait une puissance P. On admet que la différence de potentiel aux bornes de la lampe est approximativement égale à celle de la centrale $U' \approx U$. Trouvez une condition sur U en relation avec R et P afin de satisfaire la même condition sur les pertes de transport. (4P)
3. Quels sont les facteurs que les compagnies peuvent influencer afin de minimiser les pertes ? (2P)

Afin de raffiner le modèle, il faut tenir compte du fait que le courant dans le réseau est alternatif. Dans cas des éléments tels que des condensateurs et bobines exhibent un comportement différent que dans un régime de courant continu ce qui a un effet sur les pertes de transport.

Imaginons un moteur électrique qui tourne sans résistance mécanique. Celui-ci peut être modélisé par une bobine sans résistance électrique d'inductance $L = 10\ mH$ qui est reliée à une source de tension alternative triangulaire de fréquence $f = 60\ Hz$. On mesure le courant i traversant la bobine en fonction du temps.



4. Réalisez un dessin du circuit en indiquant par une flèche le sens positif du courant i et la tension u aux bornes de l'inductance. (2P)
5. Esquissez la tension $u(t)$ en fonction du temps sur le même graphique que $i(t)$ en indiquant clairement l'échelle utilisée. (4P)
6. Indiquez sur la figure les domaines pendant lesquelles la bobine agit soit comme un récepteur soit comme un générateur. (1P)
7. Quelle est la puissance moyenne fournie sur une période ? (1P)
8. Expliquez l'impact de l'utilisation d'un moteur pour les fournisseurs d'électricité du point de vue de l'efficacité du réseau électrique. Comment pourrait-on réduire cet impact ? Expliquez votre réponse. (3P)

Réponse Question 1

Nom:________________________

Question 2: Gravitation (16P)

Données :

1 AU (astronomical unit) = 1 u.a. (unité astronomique) = 150 millions de km

Valeur de la constante universelle de gravitation K = 6,67 · 10^{-11} N·m^2·kg^{-2}

Masse du Soleil M_S = 1,99 · 10^{30} kg

Fomalhaut b est la première exoplanète détectée sous lumière visible par le télescope spatial Hubble. Elle est en orbite autour de l'étoile Fomalhaut A, étoile la plus brillante de la constellation du Poisson austral. La figure ci-dessous montre une copie d'une photo avec l'étoile Fomalhaut A au centre et l'exoplanète Fomalhaut b dans le petit carré à droite. Une partie de sa trajectoire est indiquée sous le carré.

L'échelle de la photo est donnée en bas à gauche. L'échelle de l'encadré montrant une partie de la trajectoire de la planète peut être déterminé à l'aide de la taille du petit carré. La partie agrandie de l'image montre le trajet que la planète a Suivi entre 2004 et 2006.

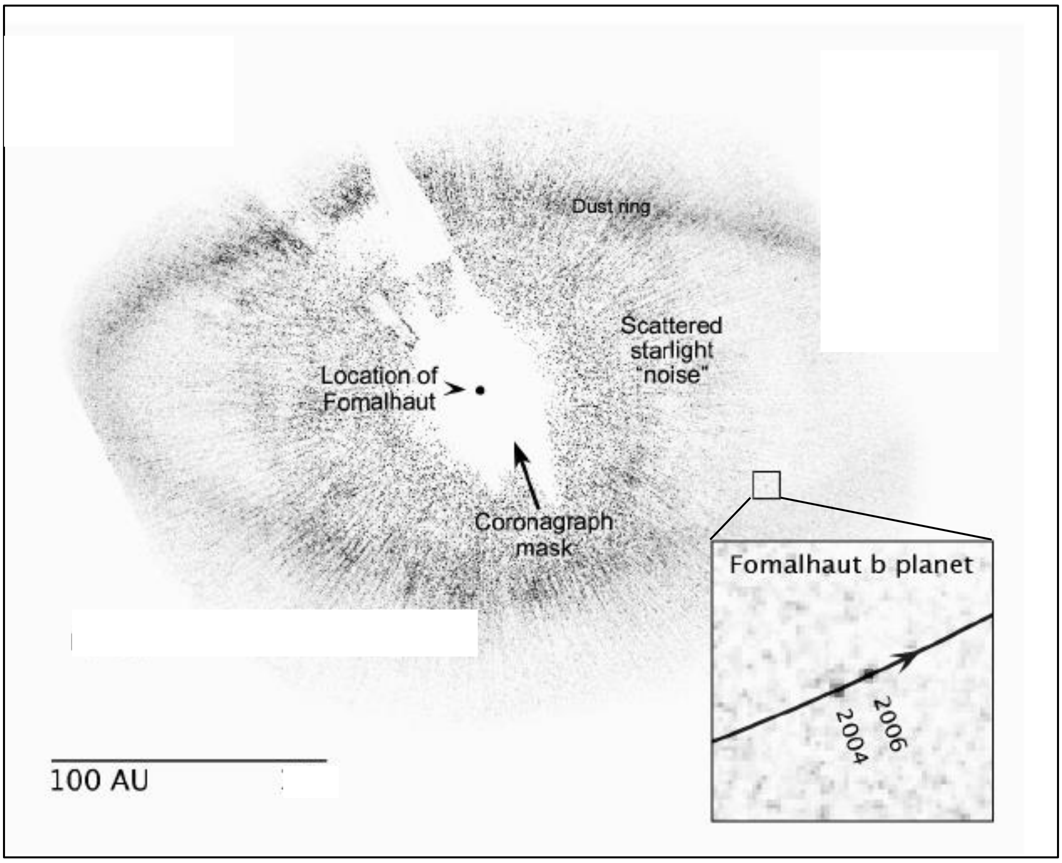


Figure 1 - The Hubble images were taken with the Space Telescope Imaging Spectrograph in 2010 and 2012. Credit: NASA, ESA, and P. Kalas (University of California, Berkeley and SETI Institute)
https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/rogue-fomalhaut.html

a) Une planète évolue sur une orbite circulaire de rayon R et de période T autour d'une étoile. Etablissez une expression pour la masse de l'étoile en fonction de R, T et K, constante universelle de gravitation. Vous pouvez supposer que la masse de la planète est négligeable par rapport à la masse de l'étoile. (4P)

b) Dans le calcul sous a) on suppose que la masse de la planète est négligeable par rapport à celle de l'étoile. Pourquoi ? (2P)

c) Utilisez les données de l'image pour calculer la masse M_F de l'étoile Fomalhaut en fonction la masse du Soleil M_S. L'orbite de la planète Fomalhaut b est considérée circulaire. Rappel : Le rayon de l'orbite de la Terre autour du Soleil est égal à 1 u.a. Dans votre réponse le nombre de chiffres significatifs devrait tenir compte de la précision de vos mesures prises. (10P)

Réponse Question 2

Question 3 : Mécanique (20P)

<u>Choc entre une balle de tennis et une plaque dure</u>

On lance une balle de tennis à grande vitesse contre une plaque horizontale supposée être non-déformable, et on enregistre le mouvement de la balle à l'aide d'une caméra vidéo haute fréquence.

De la séquence vidéo ainsi obtenue, on extrait 6 prises de vue intéressantes. Ces 6 images, notées 1, 2, 3, 4, 5, 6, sont représentées sur la figure ci-jointe et correspondent à des instants notés du haut vers le bas : t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6. Pour simplifier, on pose $t_1 = 0$.

Les images 1 et 2 correspondent à la balle en mouvement vers le bas ; l'image 3 correspond au premier contact avec la plaque, l'image 4 correspond à la plus grande déformation de la balle, l'image 5 correspond au dernier contact avec la plaque, l'image 6 correspond à la balle en mouvement vers haut.

Pour répondre aux différentes questions, utilisez les informations fournies par les 6 images, ainsi que les valeurs numériques suivantes : la masse de la balle vaut m = 58,2 g, et son diamètre d = 6,6 cm.

a) Sachant que la vitesse juste avant le contact vaut 21,3 m/s déterminez les instants t_2 et t_3. La vitesse est supposée constante au cours de cet intervalle de temps. (4P)

b) Sachant que la balle est déformée au maximum après 2 ms de contact, déterminez l'accélération moyenne de la balle au cours de la durée du contact. Comparez la à l'accélération de la pesanteur g. Déterminez la force moyenne que la plaque exerce sur la balle, ainsi que celle que la balle exerce sur la plaque. (3P)

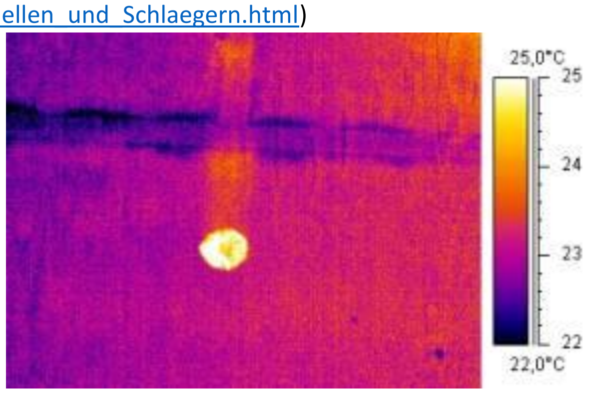
c) Déterminez le pourcentage de déformation verticale de la balle. (1P)

d) Sachant que la balle quitte la plaque avec une énergie cinétique de 3,4 J, déterminez la vitesse correspondante de la balle. (3P)

e) Déterminez l'instant t_6. (3P)

f) Déterminez l'énergie transformée en chaleur au cours du choc. De combien de degrés Celsius pourrait-on échauffer 1 cm^3 d'eau avec cette énergie. La capacité calorifique massique de l'eau vaut 4180 J/kg·K ? (5P)

g) Le document ci-contre est une prise infrarouge longue exposition du terrain de tennis dans la même perspective que les images de la vidéo. Le disque clair est l'endroit échauffée du terrain par le contact de la balle. Donnez une interprétation pour la bande rouge-clair verticale ? (1P) (http://www.pro-physik.de/details/phiuznews/1305309/Von_Baellen_und_Schlaegern.html)



Réponse Question 3

Question 4 : oscillations (24P)

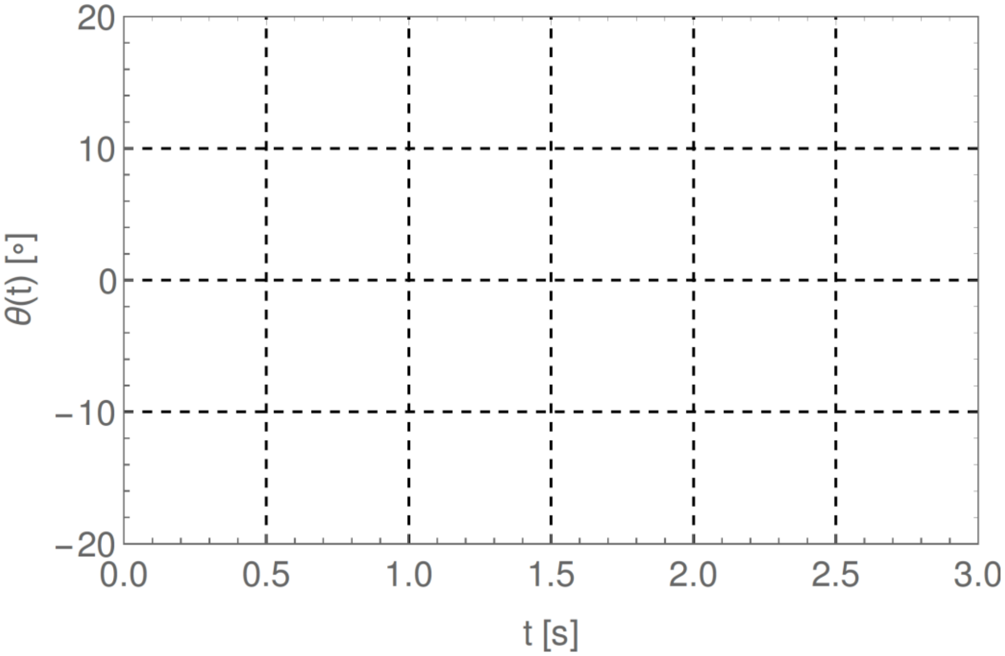
Une masse $m = 0{,}1\ kg$ accrochée à une corde de longueur L et de masse négligeable constitue un pendule simple qui effectue des oscillations autour de sa position d'équilibre.

1. Sur un schéma, dessiner le pendule à une position autre que sa position d'équilibre. Définissez un sens de rotation positif et ajouter les forces agissant sur la masse, les vecteurs unitaires de la base de Frenet ainsi que l'abscisse curviligne s mesurée à partir de la position d'équilibre.[1] (3P)
2. Établir les expressions de l'accélération tangentielle et normale. Exprimer l'accélération tangentielle à l'aide de l'abscisse curviligne s. (3P)
3. En déduire l'équation différentielle pour $\theta(t)$ en utilisant l'approximation des petits angles ($\sin x \approx x$ si $x \ll 1$). Quelle est la nature du mouvement du pendule ? Rappel: l'expression de l'abscisse curviligne est $s = L \cdot \theta$, où θ est l'angle entre la corde et la verticale. (2P)
4. Montrer que
$$\theta(t) = \theta_m \sin(\omega t + \theta_0)$$
est une solution de l'équation différentielle établie sous 3. et en donner la condition. (3P)
5. Montrer que l'expression de la période du pendule est (2P)
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

[1] Noter que $s = 0$ à la position d'équilibre. Attention au signe de s!

6. Exercice:

   a. Admettons que l'équation d'un pendule simple soit
   $$\theta(t) = 0.1\pi \sin\left(2\pi t + \frac{\pi}{2}\right).$$
   Esquisser la représentation graphique de θ (en degrés) en fonction du temps t (en s) ci-dessous. (2,5P)



   b. Ajouter la courbe représentant la vitesse $v(t)$ en fonction du temps t sur le même graphique, l'échelle de l'ordonné n'étant pas importante. (1,5P)

   c. Calculer la longueur L de la corde. (1,5P)

   d. Calculer la vitesse du pendule à l'instant $t = 1{,}3$ s. (1,5P)

   e. Calculer la tension dans la corde à $t = 1{,}3$ s. (3P)

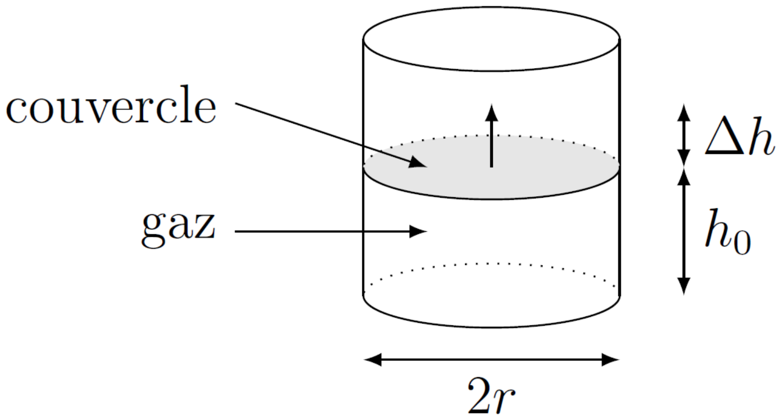
   f. Si on augmentait la longueur de la corde en laissant l'amplitude θ_m constante, comment la courbe de $\theta(t)$ changerait-elle ? (1P)

Réponse Question 4

Question 5 : Thermodynamique

Chauffage d'un gaz par irradiation laser

On considère un vaisseau cylindrique (rayon $r = 10\ \mathrm{cm}$) dont le couvercle (masse $m = 500\ \mathrm{g}$) est en verre et peut se déplacer sans frottement le long de la verticale. Le vaisseau contient un gaz idéal de capacité thermique molaire $C_V = 20.8\ \mathrm{J/(mol \cdot K)}$, qui est chauffé par la lumière d'un laser qui peut traverser le couvercle et qui est ensuite absorbée complètement par le gaz.



Le dispositif se trouve dans en environnement de température $T_{ext} = 20°C$ et de pression $p_{ext} = 101{,}3\ kPa$. Avant l'irradiation, le gaz dans le vaisseau est en équilibre avec cet environnement. Le couvercle se trouve à une hauteur de $h_0 = 30\ \mathrm{cm}$ au dessus de la base du vaisseau.

Ensuite, le laser est allumé pendant un intervalle de temps $\Delta t = 10\ \mathrm{s}$. Après cette irradiation on constate que le couvercle s'est soulevé de $\Delta h = 10\ \mathrm{cm}$.

1. Quelles sont la température T_0 et la pression p_0 du gaz avant l'irradiation ? (4P)
2. Quelles sont la température T_1 et la pression p_1 du gaz après l'irradiation ? (5P)
3. Quel est le travail que le gaz a effectué pour soulever le couvercle ? (4P)
4. Combien d'énergie a été absorbée par le gaz pendant ce processus ? (5P)

Réponse Question 5