



**PHYSICS.
OLYMPIAD.CH**
PHYSIK-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE PHYSIQUE
OLIMPIADI DELLA FISICA

Olympiades de Physique

Deuxième tour

online, 13 janvier 2021

Théorie	:	21 questions à choix multiple
Durée	:	60 minutes
Total	:	21 points (21 × 1)
Moyens autorisés	:	Calculatrice sans base de données Matériel pour écrire et dessiner Une feuille de notes A4 manuscrite écrite des deux côtés

Bonne chance !

Supported by :



Constantes fondamentales

Fréquence de la transition hyperfine du césium	$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770$	s^{-1}
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 299\,792\,458$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante de Planck	$h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Charge élémentaire	$e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$	$\text{A} \cdot \text{s}$
Constante de Boltzmann	$k_{\text{B}} = 1.380\,649 \times 10^{-23}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante d'Avogadro	$N_{\text{A}} = 6.022\,140\,76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Efficacité lumineuse	$K_{\text{cd}} = 683$	$\text{cd} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^3$
Constante magnétique	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante électrique	$\varepsilon_0 \approx 8.854\,187\,82 \times 10^{-12}$	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$
Constante des gaz	$R \approx 8.314\,462\,618$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma \approx 5.670\,374\,419 \times 10^{-8}$	$\text{kg} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{s}^{-3}$
Constante gravitationnelle	$G = 6.674\,30(15) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Masse de l'électron	$m_{\text{e}} = 9.109\,383\,701\,5(28) \times 10^{-31}$	kg
Masse du proton	$m_{\text{n}} = 1.674\,927\,498\,04(95) \times 10^{-27}$	kg
Masse du neutron	$m_{\text{p}} = 1.672\,621\,923\,69(51) \times 10^{-27}$	kg
Accélération normale de la pesanteur	$g_{\text{n}} = 9.806\,65$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Multiple Choice: feuille-réponse

Durée: 60 minutes

Cotation: 21 points (1 point par réponse correcte)

Donnez vos réponses dans les cases prévues à cet effet sur cette page ou notez-les sur une feuille séparée. Dans ce dernier cas, spécifiez à quelle question correspondent les réponses et indiquez également votre nom sur la feuille.

- Les questions à choix multiple (**MC**) comportent plusieurs réponses, dont **une seule** est correcte. Si vous sélectionnez la bonne réponse (et seulement celle-là) sur la feuille-réponse, vous obtenez un point, sinon zéro.

- Les questions vrai ou faux multiples (**MTF**) contiennent plusieurs affirmations et vous devez déterminer **si chaque affirmation** est vraie ou fausse. Si vous avez classé toutes les affirmations correctement, vous obtenez un point. Si une seule affirmation est mal classée, vous obtenez 0.5 point. Si vous faites plus d'une erreur de classement, vous n'obtenez aucun point.

Nom:	Prénom:	Total:
-------------	----------------	---------------

	A)	B)	C)	D)	E)	F)
Question 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Question 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Question 14	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Question 19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Question 21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Question 1 (MC)

Combien de tonnes de chocolat sont consommées en moyenne chaque année en Suisse? (population suisse: 8.57 millions)

- A) 10^2 t B) 10^3 t C) 10^4 t D) 10^5 t

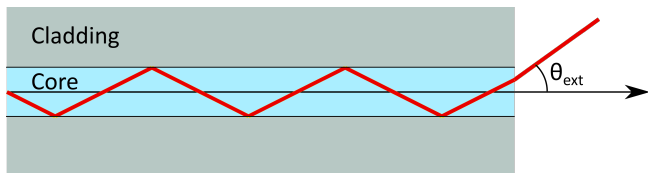
Question 2 (MTF)

Pour expliquer des expériences, des fonctions « compliquées » peuvent être approximées dans un but de simplification. Souvent, une approximation linéaire locale suffit. Lesquelles des propositions suivantes sont correctes? On suppose $x \approx 0$ et $y \approx \frac{\pi}{2}$.

- A) $\sin(x) \approx x$ B) $\sin(y) \approx 0$
 C) $\cos(x) \approx 1$ D) $\exp(x) \approx 1 + x$

Question 3 (MC)

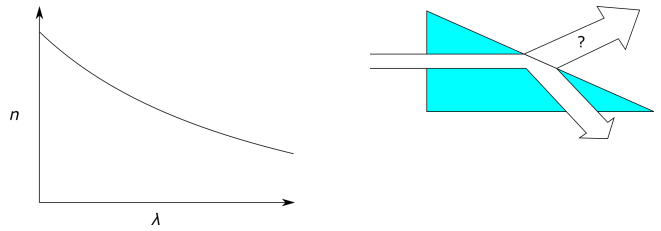
Une fibre optique est constituée de plusieurs parties. Le cœur (au centre) est fait de verre ($n_{\text{core}} = 1.49$), c'est ici que la lumière voyage. Tout autour se trouve une gaine ($n_{\text{cladding}} = 1.47$), puis une couche de protection en plastique. Que peut-on dire de l'angle θ_{ext} formé par la lumière à la sortie de la fibre?



- A) $\theta_{\text{ext}} \geq \arcsin\left(\frac{n_{\text{core}}^2}{n_{\text{cladding}}^2}\right)$
 B) $\theta_{\text{ext}} \geq \arcsin\left(\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2}\right)$
 C) $\theta_{\text{ext}} \geq \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2}$
 D) $\theta_{\text{ext}} \leq \arcsin\left(\frac{n_{\text{core}}^2}{n_{\text{cladding}}^2}\right)$
 E) $\theta_{\text{ext}} \leq \arcsin\left(\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2}\right)$
 F) $\theta_{\text{ext}} \leq \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{cladding}}^2}$

Question 4 (MC)

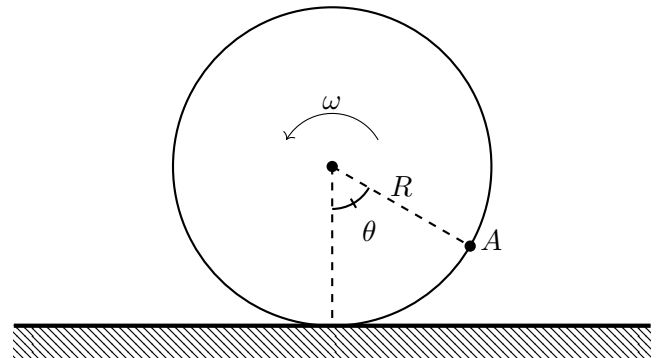
Dans le diagramme de gauche, l'indice de réfraction du verre est représenté pour différentes longueurs d'onde de la lumière visible. Un rayon de lumière blanche traverse du verre, atteint sa surface avec l'air (voir l'image de droite) et subit majoritairement une réflexion totale. Quelle est la couleur de la partie de la lumière qui est propagée dans l'air?



- A) Rouge B) Bleu
 C) Noir D) Blanc
 E) Vert menthe poivrée

Question 5 (MC)

Une roue de rayon R roule sans glisser avec une vitesse angulaire ω .

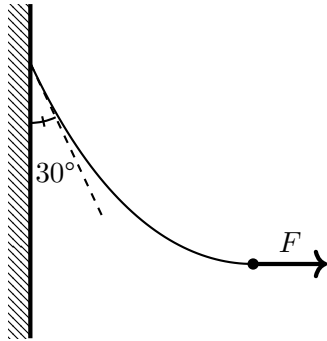


Comme montré sur la figure, le point A sur la roue fait un angle θ par rapport à la verticale. Quelle est la magnitude de sa vitesse par rapport au référentiel du sol?

- A) $2\omega R |\sin \theta|$ B) $\omega R |\sin \theta|$
 C) $2\omega R \left| \sin \frac{\theta}{2} \right|$ D) $\omega R \left| \sin \frac{\theta}{2} \right|$

Question 6 (MC)

Une extrémité d'une corde est fixée à un mur vertical et l'autre extrémité est tirée par une force horizontale F . L'angle entre la corde et la verticale est de 30° , comme montré sur la figure.

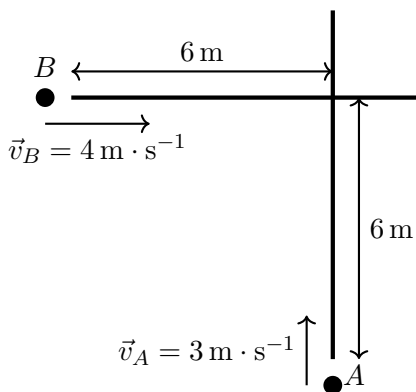


Quel est le poids W de la corde ?

- A) $W = \frac{\sqrt{3}}{2}F$
- B) $W = \frac{1}{2}F$
- C) $W = \frac{1}{\sqrt{3}}F$
- D) $W = \sqrt{3}F$

Question 7 (MC)

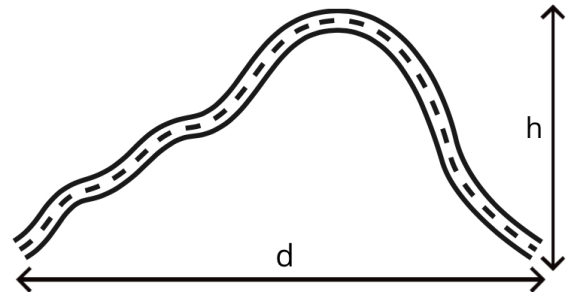
La particule A se déplace vers le nord à une vitesse constante de $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, tandis que la particule B se déplace vers l'est à une vitesse constante de $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. A un certain moment, les deux particules sont à une distance de 6 m du point d'intersection de leurs trajectoires, comme montré sur la figure. Quelle est la distance minimale entre les particules au cours de ce mouvement ?



- A) 0.8 m
- B) 1 m
- C) 1.2 m
- D) 1.4 m

Question 8 (MC)

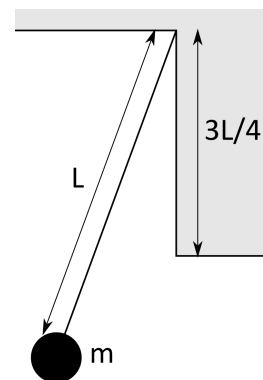
Un tube sans frottement se trouve dans un plan vertical et a une forme telle que ses deux extrémités sont à la même hauteur, voir le schéma. Une chaîne de masse par unité de longueur μ uniforme est placée dans le tube, de façon à ce qu'elle atteigne exactement chaque extrémité du tube. La chaîne est libre de se mouvoir. Quelle est la force résultante agissant sur la chaîne ?



- A) μgh
- B) μgd
- C) 0
- D) Les informations données ne suffisent pas.

Question 9 (MC)

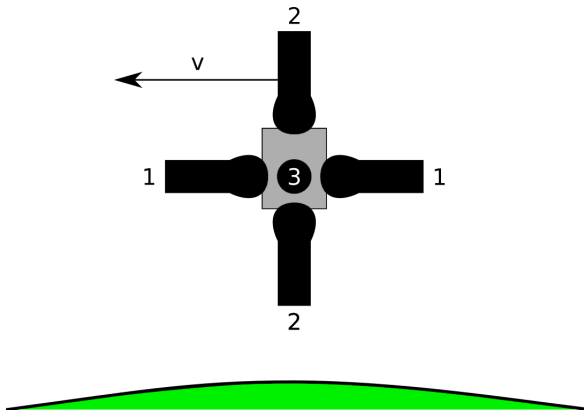
Un pendule de longueur L et de masse m est accroché dans un angle. Quel est le rapport du temps T_1 que passe la masse dans la partie de gauche au temps T_2 passé dans la partie de droite ?



- A) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4}$
- B) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$
- C) $\frac{T_1}{T_2} = 1$
- D) $\frac{T_1}{T_2} = 2$
- E) $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{3}$

Question 10 (MC)

Les Forces Spatiales ont construit un satellite pour lancer des boulets de canon sur la Terre à partir d'une orbite. Le satellite a un canon vers l'avant, un vers l'arrière, un vers le haut, un vers le bas, et un de chaque côté. Pour garder le satellite sur son orbite, on utilise toujours simultanément les deux canons opposés. Laquelle des paires sera utilisée le moins souvent ?



- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) Tous les canons seront utilisés aussi souvent les uns que les autres.

Question 11 (MC)

Deux astéroïdes de masse différentes $m_1 < m_2$ orbitent l'un autour de l'autre selon les lois du mouvement de Newton. Le plus léger orbite autour de l'autre à une vitesse v_1 . Inversement, v_2 est la vitesse du plus lourd autour du plus léger. On considère que les orbites sont circulaires. Que peut-on dire de la relation entre ces deux vitesses ?

- A) $v_1 < v_2$
- B) $v_1 > v_2$
- C) $v_1 = v_2$
- D) On ne peut pas le savoir.

Question 12 (MC)

Quelle est la hauteur maximale de laquelle l'on peut boire l'eau d'un verre avec une paille ?

- A) 0.5 m
- B) 1 m
- C) 2 m
- D) 5 m
- E) 10 m

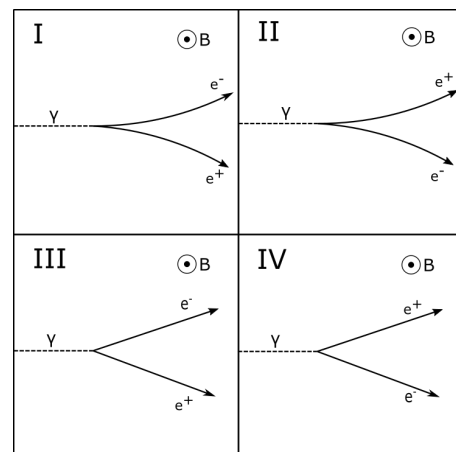
Question 13 (MC)

Newton est sur la Tour de Pise et le vent souffle en direction du Nord avec une vitesse v_w . Il lance une pomme horizontalement en direction de l'ouest avec une vitesse v_a . Nous modélisons le frottement de l'air par un frottement de Stokes (frottement proportionnel à la vitesse), ce qui correspond à une vitesse de fin de chute de $-\frac{mg}{\beta}$. La Tour de Pise est très haute, nous pouvons donc admettre que peu avant l'impact la pomme a une vitesse constante. Quelle serait cette vitesse ?

- A) $-\frac{mg}{\beta}$ vers le bas
- B) $-\frac{mg}{\beta}$ vers le bas et $-\frac{mg}{\beta}$ vers le sud
- C) $-\frac{mg}{\beta}$ vers le bas et $-\frac{mg}{\beta}$ vers le nord
- D) $-\frac{mg}{\beta}$ vers le bas et $-\frac{mg}{\beta}$ vers l'ouest
- E) $-\frac{mg}{\beta}$ vers le bas et v_a vers l'ouest
- F) $-\frac{mg}{\beta}$ vers le bas et v_w vers le nord

Question 14 (MC)

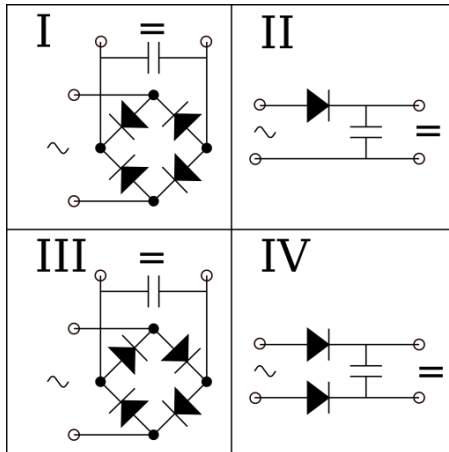
Dans un détecteur de particules, la désintégration d'un photon γ en une paire électron-positron est mesurée. Le positron, en tant qu'antiparticule de l'électron, a une charge positive et la même masse que l'électron. Laquelle des traces suivantes peut être mesurée dans le détecteur de particules ? Le détecteur de particules se trouve dans un champ magnétique homogène qui pointe hors du plan du dessin.



- A) I
- B) II
- C) III
- D) IV

Question 15 (MTF)

Lesquels des circuits montrés peuvent être utilisés pour transformer un signal alternatif (\sim) en signal continu (=) ? Remarque : dans une diode, le courant ne peut passer que dans la direction de la flèche. Le condensateur est utilisé pour lisser le signal.



- A) I B) II C) III D) IV

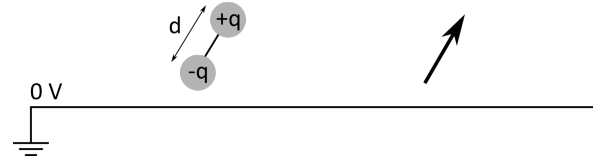
Question 16 (MC)

Emmy a construit un condensateur plan consistant en deux plaques métalliques espacées d'une distance d . Elle souhaite maintenant augmenter la capacité. Laquelle des options suivantes maximise la capacité ?

- A) Insérer une plaque de plastique (diélectrique) avec $\epsilon_r = 2$ et d'épaisseur d entre les deux plaques du condensateur.
- B) Insérer une plaque métallique d'épaisseur $\frac{d}{2}$ entre les deux plaques du condensateur, de façon à ce qu'elle repose sur l'une des deux plaques.
- C) Insérer une plaque métallique d'épaisseur $\frac{d}{2}$ entre les deux plaques du condensateur et parallèlement à celles-ci (sans les toucher).
- D) Toutes les mesures mentionnées diminuent la capacité.
- E) Toutes les mesures mentionnées augmentent la capacité d'autant.

Question 17 (MC)

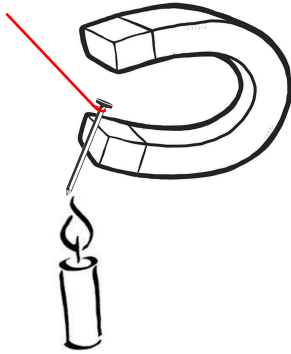
Un dipôle est formé de deux charges $+q$ et $-q$, placées à une distance fixe d l'une de l'autre. On peut également représenter un dipôle par une flèche (à droite sur l'image ci-dessous). Le dipôle est placé au-dessus d'un plan métallique mis à la terre (zéro du potentiel). Que se passe-t-il ?



- A) Le dipôle tourne sur lui-même avec une vitesse angulaire constante.
- B) Le dipôle ne bouge pas.
- C) Le dipôle tourne sur lui-même jusqu'à ce qu'il soit parallèle au plan.
- D) Le dipôle tourne sur lui-même jusqu'à ce qu'il soit perpendiculaire au plan.
- E) Le dipôle se déplace parallèlement au plan.

Question 18 (MC)

Un clou pendu à une ficelle est attiré par un aimant. On place une bougie en dessous du clou, de telle façon que la bougie ne chauffe pas l'aimant. De plus, l'endroit où la ficelle est fixée au plafond n'est pas directement au-dessus de la bougie (voir l'image). Que se passe-t-il ?



- A) Rien.
- B) Le clou se fixe encore plus fort à l'aimant.
- C) Le clou se détache de l'aimant.
- D) Le clou oscille entre des phases d'aimantation et des phases détachées de l'aimant.

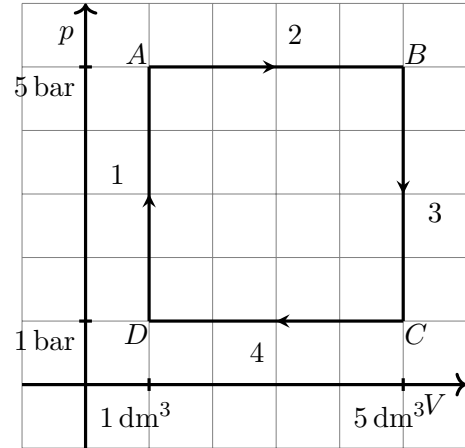
Question 19 (MC)

Lors d'un jour d'été ensoleillé, Lea décide de faire un tour à vélo. Dehors il fait 25 °C. Avant de partir elle contrôle la pression dans les pneus et constate qu'il n'y a que 2 bar dans le pneu avant au lieu de la valeur optimale 4 bar. Elle utilise une simple pompe à main pour gonfler le pneu jusqu'à la pression optimale. La pompe aspire l'air ambiant. Combien de fois doit-elle pomper ? Le pneu a un volume de 2800 cm³ et la pompe un volume de 700 cm³.

- A) 2 B) 4 C) 6 D) 8 E) 10

Question 20 (MTF)

On considère une machine remplie d'un gaz parfait, qui subit le processus cyclique suivant. Quelles propositions sont correctes ?



- A) Le travail total effectué est de 800 J.
- B) L'énergie interne du gaz parfait retrouve sa valeur initiale après un cycle.
- C) L'entropie du gaz parfait a augmenté après un cycle.
- D) Durant le sous-processus 1, il n'y a pas d'échange de chaleur.
- E) La température la plus basse est atteinte au point D.

Question 21 (MC)

Quelle est la pression de l'air p_c au sol au centre d'un cyclone tropical ? Soit v_m la vitesse tangentielle maximale du cyclone, p_m la pression de l'air au sol à la verticale de l'endroit où le cyclone a la vitesse v_m , $R_d = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ la constante des gaz pour l'air sec et T_b la température à la limite inférieure du nuage du cyclone.

- A) $p_c = p_m \exp\left(-\frac{v_m}{2R_d T_b}\right)$ B) $p_c = p_m \exp\left(-\frac{v_m^2}{2R_d T_b}\right)$
- C) $p_c = p_m \exp\left(-\frac{v_m^2}{2R_d T_b^3}\right)$ D) $p_c = p_m \exp\left(-\frac{v_m}{2R_d T_b^3}\right)$



**PHYSICS.
OLYMPIAD.CH**

PHYSIK-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE PHYSIQUE
OLIMPIADI DELLA FISICA

Olympiades de Physique

Deuxième tour

online, 13 janvier 2021

Théorie	:	3 problèmes
Durée	:	120 minutes
Total	:	48 points (15 + 17 + 16)
Moyens autorisés	:	Calculatrice sans base de données Matériel pour écrire et dessiner Une feuille de notes A4 manuscrite écrite des deux côtés

Bonne chance !

Supported by :



Problèmes théoriques

Durée: 120 minutes

Cotation: 48 points

Commencez chaque problème sur une nouvelle feuille afin de faciliter la correction. Inscrivez votre nom et le numéro de problème sur les feuilles. Numérotez-les également.

Remarque générale: les problèmes sont composés de parties partiellement indépendantes. En cas de blocage, il est conseillé de continuer à lire et de faire les parties plus faciles.

Constantes fondamentales

Fréquence de la transition hyperfine du césium	$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770$	s^{-1}
Vitesse de la lumière dans le vide	$c = 299\,792\,458$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante de Planck	$h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Charge élémentaire	$e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$	$\text{A} \cdot \text{s}$
Constante de Boltzmann	$k_{\text{B}} = 1.380\,649 \times 10^{-23}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante d'Avogadro	$N_{\text{A}} = 6.022\,140\,76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Efficacité lumineuse	$K_{\text{cd}} = 683$	$\text{cd} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^3$
Constante magnétique	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante électrique	$\varepsilon_0 \approx 8.854\,187\,82 \times 10^{-12}$	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$
Constante des gaz	$R \approx 8.314\,462\,618$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma \approx 5.670\,374\,419 \times 10^{-8}$	$\text{kg} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{s}^{-3}$
Constante gravitationnelle	$G = 6.674\,30(15) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Masse de l'électron	$m_e = 9.109\,383\,701\,5(28) \times 10^{-31}$	kg
Masse du proton	$m_p = 1.674\,927\,498\,04(95) \times 10^{-27}$	kg
Masse du neutron	$m_n = 1.672\,621\,923\,69(51) \times 10^{-27}$	kg
Accélération normale de la pesanteur	$g_n = 9.806\,65$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Problème 1.1: Table tournante (15 points)

Dans cet exercice, nous considérons une table ronde comportant un rail sans masse. Le rail est fixé sur la table et une masse m peut se déplacer sans friction le long de ce rail. La masse est reliée au centre de la table par un ressort de constante k et de longueur au repos l_0 .

Partie A. Le long du diamètre (4 points)

Le rail est fixé le long du diamètre sur la table, comme dans la figure 1.1.1. La distance x représente la déviation de la masse m par rapport à la position de repos du ressort.

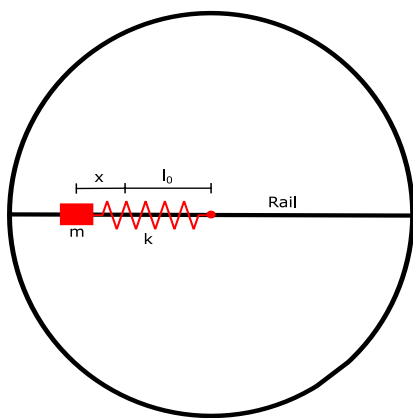


FIGURE 1.1.1: Table avec ressort

i. (1 pt.) Lorsque la table est immobile, quelle est la fréquence angulaire de l'oscillation ?

Nous positionnons maintenant la masse m à une distance l_0 du centre de la table, de sorte que le ressort soit détendu. La table est mise en mouvement de manière à tourner à une vitesse angulaire constante ω_0 .

ii. (1 pt.) Que se passe-t-il si la vitesse angulaire ω_0 est très grande ?

iii. (1 pt.) Quelle est la valeur maximale de ω_0 pour laquelle la masse m oscille ?

iv. (1 pt.) Dans ce cas-ci, la fréquence angulaire de l'oscillation est-elle plus grande ou plus petite que lorsque la table est immobile ?

Partie B. Le long de la corde (4 points)

La table est arrêtée et le rail est fixé de manière à représenter une corde de la table, comme dans la figure 1.1.2. La distance du rail au centre de la table doit être de l_0 . Cela garantit que le ressort peut revenir à une position de repos dans

laquelle il n'est pas sous tension. Dans les prochaines parties, nous indiquerons par x la déviation de la masse m par rapport au centre du rail, avec d la distance de la masse au centre de la table et θ l'angle entre le ressort et le segment reliant le centre de la table et le centre du rail.

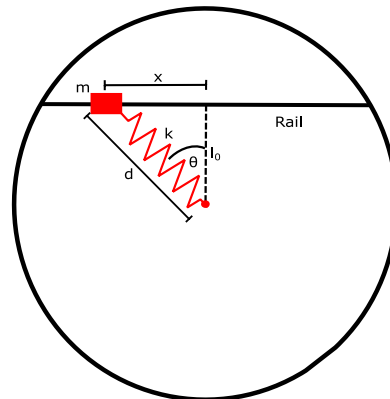


FIGURE 1.1.2: Table avec le rail le long de la corde

i. (2 pt.) Quelle est l'intensité de la force qui ramène la masse m à sa position de repos ? Exprimez le résultat en fonction de la déviation x et de la longueur au repos l_0 .

ii. (2 pt.) Calculez l'énergie stockée dans le ressort en fonction de x et l_0 .

Partie C. Positions d'équilibre (7 points)

Nous recommençons à faire tourner la table avec une vitesse angulaire ω_T .

i. (2 pt.) Dessinez un diagramme avec toutes les forces agissant sur la masse m lorsqu'elle n'est pas dans une position d'équilibre. Quelle condition sur les forces doit être valide en position d'équilibre ?

ii. (1 pt.) Trouvez une expression pour la force totale agissant sur la masse m en fonction de la distance d et de l'angle θ .

iii. (2 pt.) Combien de positions d'équilibre existe-t-il ? Calculez leur distance au centre de la table en fonction de k , ω_T et l_0 .

iv. (2 pt.) Indiquez sans justification si les positions d'équilibre sont des équilibres stables ou instables.

Problème 1.2: Convection thermique (17 points)

La convection thermique décrit le phénomène par lequel un courant se forme dans un gaz en raison de différences de température. L'exemple le plus connu de convection thermique est la montée de l'air chaud dans l'atmosphère terrestre. Dans cet exercice, nous allons examiner ce phénomène plus en détail à l'aide du modèle des gaz parfaits.

Pour les exercices qui suivent, nous supposons toujours que l'atmosphère est composée d'un gaz parfait diatomique de masse molaire M , ne comprenant qu'une seule sorte d'atomes.

Partie A. Gaz parfait (3.5 points)

i. (0.5 pt.) Citez une hypothèse qui s'applique pour un gaz parfait au niveau des particules.

ii. (1.5 pt.) Trouvez une expression générale pour la masse volumique ρ d'un gaz parfait en fonction de p , T et M .

iii. (0.5 pt.) Combien de degrés de liberté un gaz parfait diatomique a-t-il ?

Indice : les degrés de liberté de vibration sont gelés et n'apportent pas d'énergie.

iv. (1 pt.) Déduisez-en la valeur numérique du coefficient adiabatique γ pour un gaz parfait diatomique.

Note : si vous ne trouvez pas la valeur, utilisez la valeur 4/3 pour les applications numériques.

Partie B. Ascension adiabatique (3 points)

Pour dériver une condition décrivant quand la convection peut avoir lieu, nous considérons un petit paquet d'air dans l'atmosphère à la température T_0 et pression p_0 . Nous considérons ensuite que le paquet d'air monte d'une distance Δr de manière adiabatique, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'environnement.

i. (1.5 pt.) Donnez la température T après la montée de Δr en fonction de T_0 , p_0 , γ et de la pression p après la montée.

ii. (1.5 pt.) Admettons que la distance Δr soit très petite, de sorte que la pression Δp ne change

que très peu. Quel est le changement de température ΔT en fonction de Δp ?

Indice : utilisez l'approximation $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$ pour $x \ll 1$.

Partie C. Condition de convection (4.5 points)

Nous admettons maintenant que notre paquet d'air est initialement en équilibre avec l'air alentour, c'est-à-dire que l'air alentour et la paquet d'air ont la même température T_0 , la même pression p_0 et la même masse volumique $\rho_0 = \rho'_0$. L'air environnant a en outre un gradient de température $\frac{\Delta T'}{\Delta r'}$ et un gradient de pression $\frac{\Delta p'}{\Delta r'}$ fixes. En raison d'une perturbation, le paquet d'air monte de manière adiabatique d'une très petite distance Δr , en restant toujours en équilibre de pression avec l'air alentour.

i. (1 pt.) Quelle condition les masses volumiques ρ' et ρ après la montée de Δr doivent-elles remplir pour que le paquet d'air puisse continuer à monter et qu'un courant de convection apparaisse ?

ii. (1.5 pt.) Déduisez-en une condition pour ΔT et $\Delta T'$. Justifiez votre réponse.

iii. (1 pt.) Déduisez-en la condition de convection

$$\frac{\Delta T'}{\Delta r'} < \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T_0}{p_0} \frac{\Delta p'}{\Delta r'} \quad (1.2.1)$$

où γ est le coefficient adiabatique.

iv. (1 pt.) Supposons que nous ayons des conditions normales à la surface de la Terre. Indiquez si l'on peut s'attendre à un courant de convection pour les gradients suivants $\frac{\Delta p'}{\Delta r'} = -0.1 \text{ bar} \cdot \text{km}^{-1}$, $\frac{\Delta T'}{\Delta r'} = -5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$.

Partie D. Distribution de la température (6 points)

Nous voulons à présent trouver une distribution de la température telle que la convection soit continuellement possible.

i. (1 pt.) Supposons que nous ayons une colonne d'air d'une hauteur h , et que la masse volumique ρ de l'air soit constante dans la colonne. Quelle est la pression hydrostatique à l'extrémité inférieure de la colonne d'air ?

ii. (1 pt.) Dans l'atmosphère, la masse volumique $\rho(h)$ décroît avec l'augmentation de la hauteur h , c'est pourquoi nous ne considérons qu'une très petite colonne d'air de longueur Δr .

Quel est le gradient de pression $\frac{\Delta p}{\Delta r}$ à la hauteur h ?

Pour les parties d'exercice qui suivent, nous supposons que l'égalité est vérifiée dans la condition de convection (1.2.2).

$$\frac{\Delta T}{\Delta r} = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T}{p} \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (1.2.2)$$

iii. (1 pt.) Supposons que nous ayons un gradient de température suffisamment grand pour que l'inégalité dans l'équation (1.2.1) soit vérifiée. Décrivez le processus dans l'atmosphère par lequel l'équation (1.2.2) est vérifiée de manière approximative après un certain temps.

iv. (2 pt.) Avec cette hypothèse supplémentaire nous pouvons déterminer la distribution de température dans l'atmosphère. Trouve une expression pour la température à la hauteur h en fonction de g , γ , R et de la température T_0 à la surface de la Terre.

Indice : utilisez l'équation (1.2.2) et les résultats des parties D ii. et A ii.

v. (1 pt.) Supposons que la température en dehors de l'atmosphère terrestre soit de 0 K. Soit 298.15 K la température à la surface de la Terre. Calculez avec cela la hauteur de l'atmosphère terrestre. Utilisez $28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour la masse molaire M de l'air.

Problème 1.3: Feux d'artifice (16 points)

Si vous vous trouvez en face d'un bâtiment avec une façade en tôle ondulée, vous pouvez observer le phénomène suivant pendant des feux d'artifice (voir la figure 1.3.1) : peu de temps après la détonation d'un feu d'artifice K , une personne P entend un bref bourdonnement provenant d'un mur avec façade en tôle ondulée W situé en face. L'objectif de ce problème est d'étudier ce phénomène et de déduire des expressions pour la fréquence du bourdonnement.

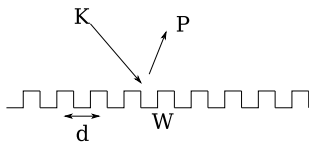


FIGURE 1.3.1: Situation avec la façade en tôle ondulée

Partie A. La détonation (1.5 point)

i. (1.5 pt.) En quoi la propagation de l'onde après avoir frappé la tôle ondulée diffère-t-elle d'une réflexion sur un mur plat ?

Afin de simplifier les calculs nous étudions ce phénomène avec un modèle plus simple : nous remplaçons la tôle ondulée par des barres très fines, arrangées périodiquement, voir la figure 1.3.2.

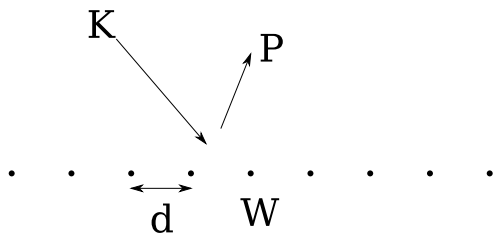


FIGURE 1.3.2: Modèle simplifié avec des barres.

Dans les parties suivantes, nous supposons que la distance entre le feu d'artifice K et le mur W ainsi que la distance du mur W à la personne P sont grandes (grandes par rapport à la dimension du mur W).

Dans ce qui suit, nous voulons examiner le phénomène selon deux approches différentes.

Partie B. La cascade d'impulsions (6.5 points)

Dans ce sous-problème, nous considérons la détonation du feu d'artifice comme une onde de pression de très courte durée temporelle.

i. (2 pt.) Tout d'abord, nous considérons une configuration particulière dans laquelle le feu d'artifice explose dans un prolongement du mur, voir la figure 1.3.3. L'onde de choc de la détonation est diffusée à chaque barre. Quelle est la différence de temps Δt_1 , Δt_2 et Δt_3 entre les ondes diffusées par deux barres voisines pour les trois personnes P_1 , P_2 et P_3 respectivement ?

ii. (1 pt.) Comment se produit le bourdonnement ?

iii. (1.5 pt.) Quelles sont les fréquences f_1 , f_2 et f_3 du bourdonnement pour les personnes P_1 , P_2 et P_3 ? Justifiez votre réponse sans utiliser l'équation (1.3.4).

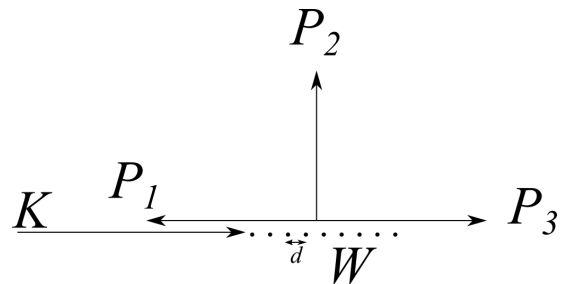


FIGURE 1.3.3: Configuration particulière avec 3 personnes.

iv. (2 pt.) Pour des angles d'incidence et de réflexion quelconques α et β (voir fig. 1.3.5), on entend à l'endroit P une fréquence

$$f(\alpha, \beta) = \frac{f_d}{\cos(\alpha) + \cos(\beta)}. \quad (1.3.4)$$

Dérivez cette équation et calculez f_d .

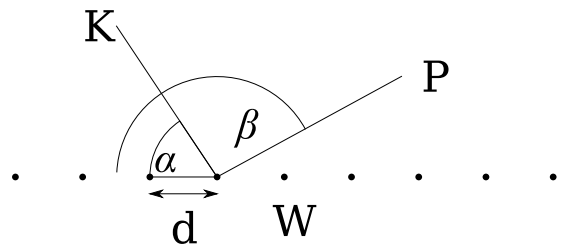


FIGURE 1.3.5: Configuration générale.

Partie C. Les ondes (4 points)

Une détonation peut également être considérée comme une superposition de nombreuses ondes planes de différentes fréquences. Dans cette partie nous allons étudier une onde plane d'une certaine fréquence f faisant partie du spectre de la détonation, qui est diffusée par les tiges. En particulier, nous ne considérons plus explicitement une détonation.

i. (1 pt.) Quelle condition doit être remplie pour qu'une personne P puisse entendre la fréquence f ? Que peut-on dire sur la différence de marche?

ii. (2 pt.) Pour quel angle de sortie β (voir la figure 1.3.5) une personne entend-elle cette fréquence f ? Effectuez le calcul pour un angle d'incidence α quelconque.

iii. (1 pt.) Comparez votre résultat avec l'équation (1.3.4).

Partie D. La vitesse du son (4 points)

i. (4 pt.) Dans cette partie, nous voulons partir du phénomène de la partie A pour déterminer la vitesse du son. Posons l'angle d'incidence $\alpha = 45^\circ$ (voir fig. 1.3.5) et la distance entre les barres $d = 20$ cm. On répertorie dans la table 1.3.6 la fréquence mesurée pour différents angles de réflexion β . Tracez les mesures dans un graphe adapté et déterminez la vitesse du son c à l'aide de ces mesures.

Indice : vous pouvez utiliser l'équation (1.3.4) et, si vous n'avez pas calculé f_d , utilisez $f_d = \pi \frac{c}{d}$.

$\beta/^\circ$	f/Hz
0	930
30	1150
60	1390
90	2410
120	7450

TABLE 1.3.6: Mesures de la fréquence f pour différents angles de réflexion β .

Multiple Choice: Lösungen

	A)	B)	C)	D)	E)	F)
Frage 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frage 4	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Frage 5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Frage 10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 12	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frage 13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Frage 14	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Frage 16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frage 17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Frage 18	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Frage 19	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Frage 20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Frage 21	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		



**PHYSICS.
OLYMPIAD.CH**

PHYSIK-OLYMPIADE
OLYMPIADES DE PHYSIQUE
OLIMPIADI DELLA FISICA

Olympiades de Physique

Deuxième tour

online, 13 janvier 2021

Théorie	:	3 problèmes
Durée	:	120 minutes
Total	:	48 points (15 + 17 + 16)
Moyens autorisés	:	Calculatrice sans base de données Matériel pour écrire et dessiner Une feuille de notes A4 manuscrite écrite des deux côtés

Bonne chance !

Supported by :



Problèmes théoriques

Durée: 120 minutes

Cotation: 48 points

Commencez chaque problème sur une nouvelle feuille afin de faciliter la correction. Inscrivez votre nom et le numéro de problème sur les feuilles. Numérotez-les également.

Remarque générale: les problèmes sont composés de parties partiellement indépendantes. En cas de blocage, il est conseillé de continuer à lire et de faire les parties plus faciles.

Constantes fondamentales

Fréquence de la transition hyperfine du césium	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	$= 9\,192\,631\,770$	s^{-1}
Vitesse de la lumière dans le vide	c	$= 299\,792\,458$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
Constante de Planck	h	$= 6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
Charge élémentaire	e	$= 1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$	$\text{A} \cdot \text{s}$
Constante de Boltzmann	k_{B}	$= 1.380\,649 \times 10^{-23}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante d'Avogadro	N_{A}	$= 6.022\,140\,76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
Efficacité lumineuse	K_{cd}	$= 683$	$\text{cd} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^3$
Constante magnétique	μ_0	$= 4\pi \times 10^{-7}$	$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante électrique	ε_0	$\approx 8.854\,187\,82 \times 10^{-12}$	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$
Constante des gaz	R	$\approx 8.314\,462\,618$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	$\approx 5.670\,374\,419 \times 10^{-8}$	$\text{kg} \cdot \text{K}^{-4} \cdot \text{s}^{-3}$
Constante gravitationnelle	G	$= 6.674\,30(15) \times 10^{-11}$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
Masse de l'électron	m_e	$= 9.109\,383\,701\,5(28) \times 10^{-31}$	kg
Masse du proton	m_p	$= 1.674\,927\,498\,04(95) \times 10^{-27}$	kg
Masse du neutron	m_n	$= 1.672\,621\,923\,69(51) \times 10^{-27}$	kg
Accélération normale de la pesanteur	g_n	$= 9.806\,65$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Problème 1.1: Table tournante (15 points)

Dans cet exercice, nous considérons une table ronde comportant un rail sans masse. Le rail est fixé sur la table et une masse m peut se déplacer sans friction le long de ce rail. La masse est reliée au centre de la table par un ressort de constante k et de longueur au repos l_0 .

Partie A. Le long du diamètre (4 points)

Le rail est fixé le long du diamètre sur la table, comme dans la figure 1.1.1. La distance x représente la déviation de la masse m par rapport à la position de repos du ressort.

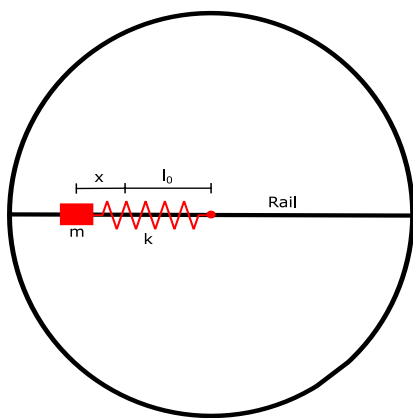


FIGURE 1.1.1: Table avec ressort

i. (1 pt.) Lorsque la table est immobile, quelle est la fréquence angulaire de l'oscillation ?

Nous positionnons maintenant la masse m à une distance l_0 du centre de la table, de sorte que le ressort soit détendu. La table est mise en mouvement de manière à tourner à une vitesse angulaire constante ω_0 .

ii. (1 pt.) Que se passe-t-il si la vitesse angulaire ω_0 est très grande ?

iii. (1 pt.) Quelle est la valeur maximale de ω_0 pour laquelle la masse m oscille ?

iv. (1 pt.) Dans ce cas-ci, la fréquence angulaire de l'oscillation est-elle plus grande ou plus petite que lorsque la table est immobile ?

Partie B. Le long de la corde (4 points)

La table est arrêtée et le rail est fixé de manière à représenter une corde de la table, comme dans la figure 1.1.2. La distance du rail au centre de la table doit être de l_0 . Cela garantit que le ressort peut revenir à une position de repos dans

laquelle il n'est pas sous tension. Dans les prochaines parties, nous indiquerons par x la déviation de la masse m par rapport au centre du rail, avec d la distance de la masse au centre de la table et θ l'angle entre le ressort et le segment reliant le centre de la table et le centre du rail.

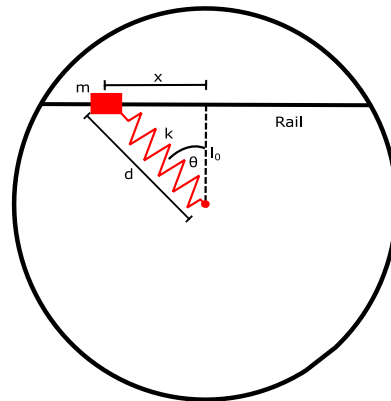


FIGURE 1.1.2: Table avec le rail le long de la corde

i. (2 pt.) Quelle est l'intensité de la force qui ramène la masse m à sa position de repos ? Exprimez le résultat en fonction de la déviation x et de la longueur au repos l_0 .

ii. (2 pt.) Calculez l'énergie stockée dans le ressort en fonction de x et l_0 .

Partie C. Positions d'équilibre (7 points)

Nous recommençons à faire tourner la table avec une vitesse angulaire ω_T .

i. (2 pt.) Dessinez un diagramme avec toutes les forces agissant sur la masse m lorsqu'elle n'est pas dans une position d'équilibre. Quelle condition sur les forces doit être valide en position d'équilibre ?

ii. (1 pt.) Trouvez une expression pour la force totale agissant sur la masse m en fonction de la distance d et de l'angle θ .

iii. (2 pt.) Combien de positions d'équilibre existe-t-il ? Calculez leur distance au centre de la table en fonction de k , ω_T et l_0 .

iv. (2 pt.) Indiquez sans justification si les positions d'équilibre sont des équilibres stables ou instables.

Problème 1.2: Convection thermique (17 points)

La convection thermique décrit le phénomène par lequel un courant se forme dans un gaz en raison de différences de température. L'exemple le plus connu de convection thermique est la montée de l'air chaud dans l'atmosphère terrestre. Dans cet exercice, nous allons examiner ce phénomène plus en détail à l'aide du modèle des gaz parfaits.

Pour les exercices qui suivent, nous supposons toujours que l'atmosphère est composée d'un gaz parfait diatomique de masse molaire M , ne comprenant qu'une seule sorte d'atomes.

Partie A. Gaz parfait (3.5 points)

i. (0.5 pt.) Citez une hypothèse qui s'applique pour un gaz parfait au niveau des particules.

ii. (1.5 pt.) Trouvez une expression générale pour la masse volumique ρ d'un gaz parfait en fonction de p , T et M .

iii. (0.5 pt.) Combien de degrés de liberté un gaz parfait diatomique a-t-il ?

Indice : les degrés de liberté de vibration sont gelés et n'apportent pas d'énergie.

iv. (1 pt.) Déduisez-en la valeur numérique du coefficient adiabatique γ pour un gaz parfait diatomique.

Note : si vous ne trouvez pas la valeur, utilisez la valeur 4/3 pour les applications numériques.

Partie B. Ascension adiabatique (3 points)

Pour dériver une condition décrivant quand la convection peut avoir lieu, nous considérons un petit paquet d'air dans l'atmosphère à la température T_0 et pression p_0 . Nous considérons ensuite que le paquet d'air monte d'une distance Δr de manière adiabatique, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'environnement.

i. (1.5 pt.) Donnez la température T après la montée de Δr en fonction de T_0 , p_0 , γ et de la pression p après la montée.

ii. (1.5 pt.) Admettons que la distance Δr soit très petite, de sorte que la pression Δp ne change

que très peu. Quel est le changement de température ΔT en fonction de Δp ?

Indice : utilisez l'approximation $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$ pour $x \ll 1$.

Partie C. Condition de convection (4.5 points)

Nous admettons maintenant que notre paquet d'air est initialement en équilibre avec l'air alentour, c'est-à-dire que l'air alentour et le paquet d'air ont la même température T_0 , la même pression p_0 et la même masse volumique $\rho_0 = \rho'_0$. L'air environnant a en outre un gradient de température $\frac{\Delta T'}{\Delta r'}$ et un gradient de pression $\frac{\Delta p'}{\Delta r'}$ fixes. En raison d'une perturbation, le paquet d'air monte de manière adiabatique d'une très petite distance Δr , en restant toujours en équilibre de pression avec l'air alentour.

i. (1 pt.) Quelle condition les masses volumiques ρ' et ρ après la montée de Δr doivent-elles remplir pour que le paquet d'air puisse continuer à monter et qu'un courant de convection apparaisse ?

ii. (1.5 pt.) Déduisez-en une condition pour ΔT et $\Delta T'$. Justifiez votre réponse.

iii. (1 pt.) Déduisez-en la condition de convection

$$\frac{\Delta T'}{\Delta r'} < \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T_0}{p_0} \frac{\Delta p'}{\Delta r'} \quad (1.2.1)$$

où γ est le coefficient adiabatique.

iv. (1 pt.) Supposons que nous ayons des conditions normales à la surface de la Terre. Indiquez si l'on peut s'attendre à un courant de convection pour les gradients suivants $\frac{\Delta p'}{\Delta r'} = -0.1 \text{ bar} \cdot \text{km}^{-1}$, $\frac{\Delta T'}{\Delta r'} = -5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$.

Partie D. Distribution de la température (6 points)

Nous voulons à présent trouver une distribution de la température telle que la convection soit continuellement possible.

i. (1 pt.) Supposons que nous ayons une colonne d'air d'une hauteur h , et que la masse volumique ρ de l'air soit constante dans la colonne. Quelle est la pression hydrostatique à l'extrémité inférieure de la colonne d'air ?

ii. (1 pt.) Dans l'atmosphère, la masse volumique $\rho(h)$ décroît avec l'augmentation de la hauteur h , c'est pourquoi nous ne considérons qu'une très petite colonne d'air de longueur Δr .

Quel est le gradient de pression $\frac{\Delta p}{\Delta r}$ à la hauteur h ?

Pour les parties d'exercice qui suivent, nous supposons que l'égalité est vérifiée dans la condition de convection (1.2.2).

$$\frac{\Delta T}{\Delta r} = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T}{p} \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (1.2.2)$$

iii. (1 pt.) Supposons que nous ayons un gradient de température suffisamment grand pour que l'inégalité dans l'équation (1.2.1) soit vérifiée. Décrivez le processus dans l'atmosphère par lequel l'équation (1.2.2) est vérifiée de manière approximative après un certain temps.

iv. (2 pt.) Avec cette hypothèse supplémentaire nous pouvons déterminer la distribution de température dans l'atmosphère. Trouve une expression pour la température à la hauteur h en fonction de g , γ , R et de la température T_0 à la surface de la Terre.

Indice : utilisez l'équation (1.2.2) et les résultats des parties D ii. et A ii.

v. (1 pt.) Supposons que la température en dehors de l'atmosphère terrestre soit de 0 K. Soit 298.15 K la température à la surface de la Terre. Calculez avec cela la hauteur de l'atmosphère terrestre. Utilisez $28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour la masse molaire M de l'air.

Problème 1.3: Feux d'artifice (16 points)

Si vous vous trouvez en face d'un bâtiment avec une façade en tôle ondulée, vous pouvez observer le phénomène suivant pendant des feux d'artifice (voir la figure 1.3.1) : peu de temps après la détonation d'un feu d'artifice K , une personne P entend un bref bourdonnement provenant d'un mur avec façade en tôle ondulée W situé en face. L'objectif de ce problème est d'étudier ce phénomène et de déduire des expressions pour la fréquence du bourdonnement.

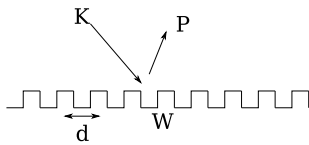


FIGURE 1.3.1: Situation avec la façade en tôle ondulée

Partie A. La détonation (1.5 point)

i. (1.5 pt.) En quoi la propagation de l'onde après avoir frappé la tôle ondulée diffère-t-elle d'une réflexion sur un mur plat ?

Afin de simplifier les calculs nous étudions ce phénomène avec un modèle plus simple : nous remplaçons la tôle ondulée par des barres très fines, arrangées périodiquement, voir la figure 1.3.2.

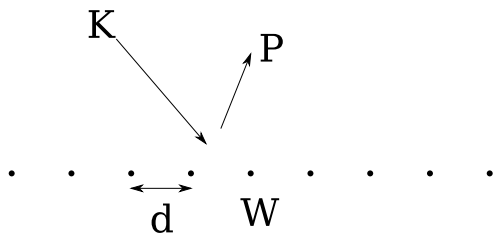


FIGURE 1.3.2: Modèle simplifié avec des barres.

Dans les parties suivantes, nous supposons que la distance entre le feu d'artifice K et le mur W ainsi que la distance du mur W à la personne P sont grandes (grandes par rapport à la dimension du mur W).

Dans ce qui suit, nous voulons examiner le phénomène selon deux approches différentes.

Partie B. La cascade d'impulsions (6.5 points)

Dans ce sous-problème, nous considérons la détonation du feu d'artifice comme une onde de pression de très courte durée temporelle.

i. (2 pt.) Tout d'abord, nous considérons une configuration particulière dans laquelle le feu d'artifice explose dans un prolongement du mur, voir la figure 1.3.3. L'onde de choc de la détonation est diffusée à chaque barre. Quelle est la différence de temps Δt_1 , Δt_2 et Δt_3 entre les ondes diffusées par deux barres voisines pour les trois personnes P_1 , P_2 et P_3 respectivement ?

ii. (1 pt.) Comment se produit le bourdonnement ?

iii. (1.5 pt.) Quelles sont les fréquences f_1 , f_2 et f_3 du bourdonnement pour les personnes P_1 , P_2 et P_3 ? Justifiez votre réponse sans utiliser l'équation (1.3.4).

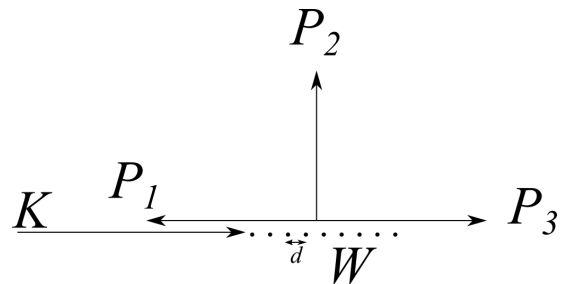


FIGURE 1.3.3: Configuration particulière avec 3 personnes.

iv. (2 pt.) Pour des angles d'incidence et de réflexion quelconques α et β (voir fig. 1.3.5), on entend à l'endroit P une fréquence

$$f(\alpha, \beta) = \frac{f_d}{\cos(\alpha) + \cos(\beta)}. \quad (1.3.4)$$

Dérivez cette équation et calculez f_d .

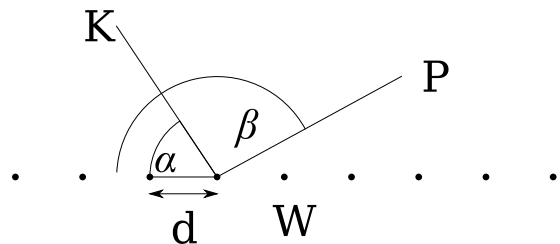


FIGURE 1.3.5: Configuration générale.

Partie C. Les ondes (4 points)

Une détonation peut également être considérée comme une superposition de nombreuses ondes planes de différentes fréquences. Dans cette partie nous allons étudier une onde plane d'une certaine fréquence f faisant partie du spectre de la détonation, qui est diffusée par les tiges. En particulier, nous ne considérons plus explicitement une détonation.

i. (1 pt.) Quelle condition doit être remplie pour qu'une personne P puisse entendre la fréquence f ? Que peut-on dire sur la différence de marche?

ii. (2 pt.) Pour quel angle de sortie β (voir la figure 1.3.5) une personne entend-elle cette fréquence f ? Effectuez le calcul pour un angle d'incidence α quelconque.

iii. (1 pt.) Comparez votre résultat avec l'équation (1.3.4).

Partie D. La vitesse du son (4 points)

i. (4 pt.) Dans cette partie, nous voulons partir du phénomène de la partie A pour déterminer la vitesse du son. Posons l'angle d'incidence $\alpha = 45^\circ$ (voir fig. 1.3.5) et la distance entre les barres $d = 20$ cm. On répertorie dans la table 1.3.6 la fréquence mesurée pour différents angles de réflexion β . Tracez les mesures dans un graphe adapté et déterminez la vitesse du son c à l'aide de ces mesures.

Indice : vous pouvez utiliser l'équation (1.3.4) et, si vous n'avez pas calculé f_d , utilisez $f_d = \pi \frac{c}{d}$.

$\beta/^\circ$	f/Hz
0	930
30	1150
60	1390
90	2410
120	7450

TABLE 1.3.6: Mesures de la fréquence f pour différents angles de réflexion β .

Problèmes théoriques: solutions

Problème 1.1: Table tournante

15 pt.

Dans cet exercice, nous considérons une table ronde comportant un rail sans masse. Le rail est fixé sur la table et une masse m peut se déplacer sans friction le long de ce rail. La masse est reliée au centre de la table par un ressort de constante k et de longueur au repos l_0 .

Partie A. Le long du diamètre

4 pt.

Le rail est fixé le long du diamètre sur la table, comme dans la figure 1.1.1. La distance x représente la déviation de la masse m par rapport à la position de repos du ressort.

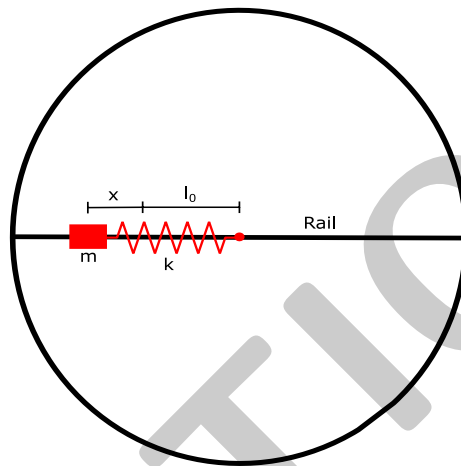


FIGURE 1.1.1: Table avec ressort

i. Lorsque la table est immobile, quelle est la fréquence angulaire de l'oscillation ?

1 pt.

$$\omega_{\text{spring}} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

1 pt.

Give 0.5 points if the frequency

$$f_{\text{spring}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

instead of the angular frequency is given as a solution.

Nous positionnons maintenant la masse m à une distance l_0 du centre de la table, de sorte que le ressort soit détendu. La table est mise en mouvement de manière à tourner à une vitesse angulaire constante ω_0 .

ii. Que se passe-t-il si la vitesse angulaire ω_0 est très grande ?

1 pt.

If the angular speed is very high the centrifugal force will always be larger than the spring force, because it is increasing linearly with the distance x as well. Therefore, the mass will move outwards with increasing speed and eventually fall over the edge of the table.

1 pt.

One could also argue that the spring force is smaller than the centripetal force for very high ω_0 . In this case also all the points are given.

iii. Quelle est la valeur maximale de ω_0 pour laquelle la masse m oscille ?

1 pt.

At the beginning when $x = 0$, the centrifugal force will always be larger than the spring force, which is zero. The magnitude of both forces increases linearly in distance x with proportionality constants k and $m\omega_0^2$. We have an oscillation in case the spring force will become larger than the centrifugal force at some distance x . Which means we need to have $k > m\omega_0^2$. This leads to

$$\omega_0 < \sqrt{\frac{k}{m}} = \omega_{\text{spring}}$$

1 pt.

This condition can also be found by arguing with the centripetal force. All points are given if the conclusion is correct.

iv. Dans ce cas-ci, la fréquence angulaire de l'oscillation est-elle plus grande ou plus petite que lorsque la table est immobile ?

1 pt.

The centrifugal force is acting against the spring force, which effectively can be described as if the spring had a smaller spring constant $k' < k$. This means that the new angular frequency ω is smaller than ω_{spring} .

1 pt.

Similarly one can argue that part of the spring force is needed for the centripetal force. Therefore we have an effective spring constant $k' < k$ and we come to the same conclusion as above.

Partie B. Le long de la corde

4 pt.

La table est arrêtée et le rail est fixé de manière à représenter une corde de la table, comme dans la figure 1.1.2. La distance du rail au centre de la table doit être de l_0 . Cela garantit que le ressort peut revenir à une position de repos dans laquelle il n'est pas sous tension. Dans les prochaines parties, nous indiquerons par x la déviation de la masse m par rapport au centre du rail, avec d la distance de la masse au centre de la table et θ l'angle entre le ressort et le segment reliant le centre de la table et le centre du rail.

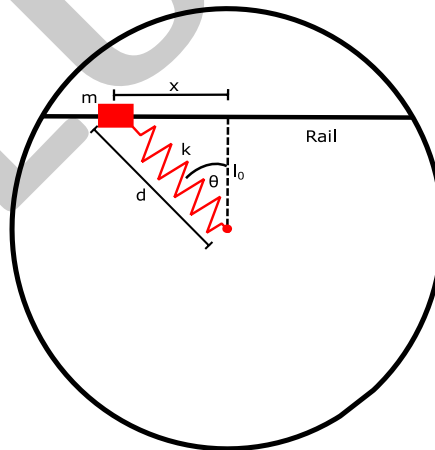


FIGURE 1.1.2: Table avec le rail le long de la corde

i. Quelle est l'intensité de la force qui ramène la masse m à sa position de repos ? Exprimez le résultat en fonction de la déviation x et de la longueur au repos l_0 .

2 pt.

The total force from the spring on the mass is

$$F_{\text{tot}} = -k \left(\sqrt{x^2 + l_0^2} - l_0 \right)$$

0.5 pt.

Since the mass is fixed on the rail only the component parallel to the rail contributes

$$F = -k \left(\sqrt{x^2 + l_0^2} - l_0 \right) \sin(\theta)$$

0.5 pt.

Expressed in term of x , l_0 the sine is

$$\sin(\theta) = \frac{x}{\sqrt{l_0^2 + x^2}}$$

0.5 pt.

Combining the the two equations gives

$$F = -kx \left(1 - \frac{l_0}{\sqrt{l_0^2 + x^2}} \right)$$

0.5 pt.

ii. Calculez l'énergie stockée dans le ressort en fonction de x et l_0 .

2 pt.

The energy in the spring is

$$E = \frac{1}{2} k (d - l_0)^2$$

0.5 pt.

Expanding the bracket gives

$$E = \frac{1}{2} k (d^2 - 2l_0d + l_0^2)$$

0.5 pt.

We can use Pythagoras to substitute the distance d

$$d = \sqrt{x^2 + l_0^2}$$

0.5 pt.

In the end we get

$$E = \frac{1}{2} kx^2 - \left(\frac{\sqrt{l_0^2 + x^2}}{l_0} - 1 \right) kl_0^2$$

0.5 pt.

Alternative solution :

The energy in the spring is

$$E = - \int_0^x F(s) ds$$

By evaluating the integral we get the same solution

(0.5 pt)

$$E = \int_0^x ks \left(1 - \frac{l_0}{\sqrt{l_0^2 + s^2}} \right) ds = \frac{1}{2} kx^2 - \left(\frac{\sqrt{l_0^2 + x^2}}{l_0} - 1 \right) kl_0^2$$

(1.5 pt)

Partie C. Positions d'équilibre

7 pt.

Nous recommençons à faire tourner la table avec une vitesse angulaire ω_T .

i. Dessinez un diagramme avec toutes les forces agissant sur la masse m lorsqu'elle n'est pas dans une position d'équilibre. Quelle condition sur les forces doit être valide en position d'équilibre ?

2 pt.

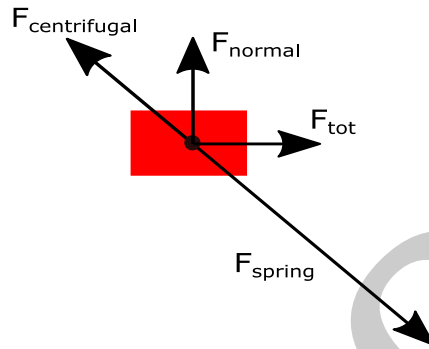


FIGURE 1.1.3: Force diagram

The force of the spring.

0.5 pt.

The normal force from the rail on the mass. If the spring force is smaller than the centrifugal force the normal force points in a different direction as shown in sketch 1.1.3.

0.5 pt.

The centrifugal force from the rotation.

0.5 pt.

In equilibrium the sum of all the forces is zero.

0.5 pt.

In case this question is solved with the centripetal force, the 0.5 points from the centrifugal force and the 0.5 points from the equilibrium condition are given if one mentions that in equilibrium the total force is equal to the centripetal force.

ii. Trouvez une expression pour la force totale agissant sur la masse m en fonction de la distance d et de l'angle θ .

1 pt.

The total force on the mass is

$$F_{tot} = m\omega_T^2 d \sin(\theta) - k(d - l_0) \sin(\theta)$$

For the centrifugal force.

0.5 pt.

For the spring force.

0.5 pt.

In case the problem is solved with the centripetal force, full points are given for

$$F_{tot} = -k(d - l_0) \sin(\theta)$$

iii. Combien de positions d'équilibre existe-t-il? Calculez leur distance au centre de la table en fonction de k , ω_T et l_0 .

2 pt.

In equilibrium the total force is zero, which means that either $\sin(\theta) = 0$ or the centrifugal force is equal to the spring force

$$m\omega_T^2 d = k(d - l_0)$$

where d is the distance between the mass and the center of the circle.

0.5 pt.

The same condition is found in case if one says the centripetal force is equal to spring force.

Solving for d gives

$$d = l_0 \frac{k}{k - m\omega_T^2}$$

0.5 pt.

This solution only makes sense in the case $m\omega_T^2 < k$, which means in this case there are three equilibrium points, two at distances d and one at distance l_0 .

0.5 pt.

In the case $m\omega_T^2 > k$, there is only the equilibrium point in the middle at distance l_0 .

0.5 pt.

iv. Indiquez sans justification si les positions d'équilibre sont des équilibres stables ou instables.

2 pt.

First we look at the equilibrium point in the middle ($d = l_0$). At $x = 0$ the total force of the spring is 0 but the centrifugal force is $m\omega_T^2 l_0 > 0$. Therefore for small deviations δx the mass will be pushed away from the equilibrium point. This means the point is unstable.

1 pt.

For the other two points we first note that the spring force and the centrifugal force are both linearly increasing in d but just in opposite directions. The proportionality constants are $m\omega_T^2$ and k . In these two equilibrium points both forces are equal in magnitude and we know $m\omega_T^2 < k$. This means for distances d further from the center the spring force becomes dominant which pushes the mass back to equilibrium. The opposite happens for distances d closer to center than the equilibrium, where the centrifugal is dominant, which pushes the mass out to the equilibrium. Thereby these two equilibrium points are stable.

1 pt.

Problème 1.2: Convection thermique**17 pt.**

La convection thermique décrit le phénomène par lequel un courant se forme dans un gaz en raison de différences de température. L'exemple le plus connu de convection thermique est la montée de l'air chaud dans l'atmosphère terrestre. Dans cet exercice, nous allons examiner ce phénomène plus en détail à l'aide du modèle des gaz parfaits.

Pour les exercices qui suivent, nous supposons toujours que l'atmosphère est composée d'un gaz parfait diatomique de masse molaire M , ne comprenant qu'une seule sorte d'atomes.

Partie A. Gaz parfait**3.5 pt.**

i. Citez une hypothèse qui s'applique pour un gaz parfait au niveau des particules.

0.5 pt.

Points are given for one of the following statements:

- There isn't any attraction between the molecules.
- The collisions between the molecules are elastic.
- The collisions between the molecules and the wall are elastic.
- The atoms in the gas molecules are point like.

0.5 pt.

ii. Trouvez une expression générale pour la masse volumique ρ d'un gaz parfait en fonction de p , T et M .

1.5 pt.

In the ideal gas law

$$pV = nRT$$

0.5 pt.

We can substitute the number of gas molecules n by the density

$$n = \frac{\rho V}{M}$$

0.5 pt.

After some algebraic transformation we get

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

0.5 pt.

iii. Combien de degrés de liberté un gaz parfait diatomique a-t-il?

Indice : les degrés de liberté de vibration sont gelés et n'apportent pas d'énergie.

0.5 pt.

We have 3 translational degrees of freedom and 2 rotational degrees of freedom. In total we therefore have 5.

0.5 pt.

iv. Déduisez-en la valeur numérique du coefficient adiabatique γ pour un gaz parfait diatomique.

Note : si vous ne trouvez pas la valeur, utilisez la valeur 4/3 pour les applications numériques.

1 pt.

We have $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ with $c_p = \frac{f+2}{2}R$ and $c_v = \frac{f}{2}R$, where f are the degree of freedoms.

0.5 pt.

Plugging in the values gives $\gamma = 1.4$.

0.5 pt.

Note : If the adiabatic coefficient is stated directly without reasoning only 0.5 points are given.

Partie B. Ascension adiabatique

3 pt.

Pour dériver une condition décrivant quand la convection peut avoir lieu, nous considérons un petit paquet d'air dans l'atmosphère à la température T_0 et pression p_0 . Nous considérons ensuite que le paquet d'air monte d'une distance Δr de manière adiabatique, c'est-à-dire sans échange de chaleur avec l'environnement.

i. Donnez la température T après la montée de Δr en fonction de T_0 , p_0 , γ et de la pression p après la montée.

1.5 pt.

From the adiabatic equation in p , T we get

$$p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T = p_0^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_0$$

1 pt.

Rearranging the terms gives

$$T = \frac{p_0^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_0}{p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}$$

0.5 pt.

Note: The adiabatic equation in p , T can be derived from the standard adiabatic equation in p , V : $pV^\gamma = \text{const.}$

$$pV^\gamma = \text{const.} \implies p^{\frac{1}{\gamma}} V = \text{const.}$$

By the ideal gas law we get

$$p^{\frac{1}{\gamma}-1} T n r = \text{const.} \implies p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T = \text{const.}$$

ii. Admettons que la distance Δr soit très petite, de sorte que la pression Δp ne change que très peu. Quel est le changement de température ΔT en fonction de Δp ?

Indice: utilisez l'approximation $(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$ pour $x \ll 1$.

1.5 pt.

From the solution above we have

$$T_0 + \Delta T = p_0^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_0 (p_0 + \Delta p)^{-\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_0 \left(1 + \frac{\Delta p}{p_0}\right)^{-\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

0.5 pt.

Using the approximation given in the hint

$$T_0 + \Delta T = T_0 - \frac{1-\gamma}{\gamma} \Delta p \frac{T_0}{p_0}$$

0.5 pt.

We conclude

$$\Delta T = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \Delta p \frac{T_0}{p_0}$$

0.5 pt.

Partie C. Condition de convection

4.5 pt.

Nous admettons maintenant que notre paquet d'air est initialement en équilibre avec l'air

alentour, c'est-à-dire que l'air alentour et la paquette d'air ont la même température T_0 , la même pression p_0 et la même masse volumique $\rho_0 = \rho'_0$. L'air environnant a en outre un gradient de température $\frac{\Delta T'}{\Delta r'}$ et un gradient de pression $\frac{\Delta p'}{\Delta r'}$ fixes. En raison d'une perturbation, le paquet d'air monte de manière adiabatique d'une très petite distance Δr , en restant toujours en équilibre de pression avec l'air alentour.

i. Quelle condition les masses volumiques ρ' et ρ après la montée de Δr doivent-elles remplir pour que le paquet d'air puisse continuer à monter et qu'un courant de convection apparaisse ?

1 pt.

The buoyancy force needs to be higher than the gravitational force, so that the air continues to rise.

0.5 pt.

Mathematically this conditions reads as

$$\rho < \rho'$$

0.5 pt.

Note: Full points are also given if the solution is stated directly.

ii. Déduisez-en une condition pour ΔT et $\Delta T'$. Justifiez votre réponse.

1.5 pt.

We use the formula derived for the density of the ideal gas in A ii.

$$\frac{M(p_0 + \Delta p)}{R(T_0 + \Delta T)} = \rho < \rho' = \frac{M(p'_0 + \Delta p')}{R(T'_0 + \Delta T')}$$

0.5 pt.

Since the pressure is in equilibrium $\Delta p' = \Delta p$ and $p_0 = p'_0$, $T_0 = T'_0$ we get

$$\frac{1}{T_0 + \Delta T} < \frac{1}{T_0 + \Delta T'}$$

0.5 pt.

We conclude

$$\Delta T > \Delta T'$$

0.5 pt.

Note: If the condition is stated directly without reasoning only 0.5 points are given.

iii. Déduisez-en la condition de convection

$$\frac{\Delta T'}{\Delta r'} < \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T_0}{p_0} \frac{\Delta p'}{\Delta r'} \quad (1.2.1)$$

où γ est le coefficient adiabatique.

1 pt.

We can use the expression for ΔT derived before

$$\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T_0}{p_0} \Delta p = \Delta T < \Delta T'$$

0.5 pt.

Since the pressure is in equilibrium we get $\Delta p = \Delta p'$. Rearranging the terms and dividing by $\Delta r'$ we get the convection condition

$$\left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T_0 \Delta p'}{p_0 \Delta r'} > \frac{\Delta T'}{\Delta r'}$$

0.5 pt.

iv. Supposons que nous ayons des conditions normales à la surface de la Terre. Indiquez si l'on peut s'attendre à un courant de convection pour les gradients suivants $\frac{\Delta p'}{\Delta r'} = -0.1 \text{ bar} \cdot \text{km}^{-1}$, $\frac{\Delta T'}{\Delta r'} = -5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$.

1 pt.

Normal conditions mean $p_0 = 1 \text{ bar}$ and $T_0 = 273.15 \text{ K}$ (or 293.15 K depending on the exact definition of the normal conditions).

0.5 pt.

For both values of the adiabatic coefficient (1.4 and $4/3$) the convection condition is not fulfilled and no convection occurs.

0.5 pt.

For convection to occur, one needs a temperature gradient of about $-10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$.

Partie D. Distribution de la température

6 pt.

Nous voulons à présent trouver une distribution de la température telle que la convection soit continuellement possible.

i. Supposons que nous ayons une colonne d'air d'une hauteur h , et que la masse volumique ρ de l'air soit constante dans la colonne. Quelle est la pression hydrostatique à l'extrémité inférieure de la colonne d'air ?

1 pt.

The hydrostatic pressure is

$$p = \rho g h$$

1 pt.

ii. Dans l'atmosphère, la masse volumique $\rho(h)$ décroît avec l'augmentation de la hauteur h , c'est pourquoi nous ne considérons qu'une très petite colonne d'air de longueur Δr . Quel est le gradient de pression $\frac{\Delta p}{\Delta r}$ à la hauteur h ?

1 pt.

For a small air package we can assume that the density is constant. So the pressure difference throughout the air package is $\Delta p = -g\rho\Delta r$. Therefore we get

$$\frac{\Delta p}{\Delta r} = -g\rho(h)$$

1 pt.

Pour les parties d'exercice qui suivent, nous supposons que l'égalité est vérifiée dans la condition de convection (1.2.2).

$$\frac{\Delta T}{\Delta r} = \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T}{p} \frac{\Delta p}{\Delta r} \quad (1.2.2)$$

iii. Supposons que nous ayons un gradient de température suffisamment grand pour que l'inégalité dans l'équation (1.2.1) soit vérifiée. Décrivez le processus dans l'atmosphère par lequel l'équation (1.2.2) est vérifiée de manière approximative après un certain temps.

1 pt.

In case the temperature drops that rapidly, so that the convection condition is fulfilled, the warm air at the ground starts to rise. Since the warm air is rising the temperature gradient will decrease until we have an equality in the convection condition.

1 pt.

iv. Avec cette hypothèse supplémentaire nous pouvons déterminer la distribution de température dans l'atmosphère. Trouve une expression pour la température à la hauteur h en fonction de g , γ , R et de la température T_0 à la surface de la Terre.

Indice : utilisez l'équation (1.2.2) et les résultats des parties D ii. et A ii.

2 pt.

We use equation (1.2.2) and the expression for the pressure gradient to get a differential equation for the temperature gradient

$$\frac{\Delta T}{\Delta r} = - \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) \frac{T}{p} g \rho$$

0.5 pt.

With the solution from question A ii. this can be simplified to

$$\frac{\Delta T}{\Delta r} = - \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) g \frac{M}{R}$$

0.5 pt.

We see that the temperature gradient is a constant independent of the height h . Therefore we get

$$T(h) = T_0 - \left(1 - \frac{1}{\gamma}\right) g \frac{M}{R} h = T_0 - Ah$$

1 pt.

v. Supposons que la température en dehors de l'atmosphère terrestre soit de 0 K. Soit 298.15 K la température à la surface de la Terre. Calculez avec cela la hauteur de l'atmosphère terrestre. Utilisez $28 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour la masse molaire M de l'air.

1 pt.

Let h_a be the height of the atmosphere. Therefore we have $0 = -Ah_a + T_0$. This means

$$h_a = \frac{T_0}{A}$$

0.5 pt.

We get a numerical value of 32 km.

0.5 pt.

The value of the constant is

$$A = 9.44 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1}$$

In case $\gamma = 4/3$ the numerical values are

$$A = 8.26 \text{ K} \cdot \text{km}^{-1} \text{ and } r_a = 36 \text{ km}$$

Problème 1.3: Feux d'artifice

16 pt.

Si vous vous trouvez en face d'un bâtiment avec une façade en tôle ondulée, vous pouvez observer le phénomène suivant pendant des feux d'artifice (voir la figure 1.3.1) : peu de temps après la détonation d'un feu d'artifice K , une personne P entend un bref bourdonnement provenant d'un mur avec façade en tôle ondulée W situé en face.

L'objectif de ce problème est d'étudier ce phénomène et de déduire des expressions pour la fréquence du bourdonnement.

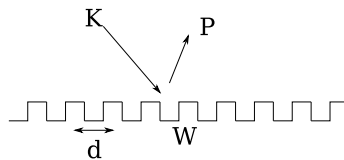


FIGURE 1.3.1: Situation avec la façade en tôle ondulée

Partie A. La détonation

1.5 pt.

i. En quoi la propagation de l'onde après avoir frappé la tôle ondulée diffère-t-elle d'une réflexion sur un mur plat ?

1.5 pt.

In case of a corrugated iron, the sound wave gets scattered at each front plate.

0.5 pt.

The outgoing waves are cylindrical waves.

0.5 pt.

In case of a plane wall, the reflected sound wave is rather a plane wave.

0.5 pt.

Afin de simplifier les calculs nous étudions ce phénomène avec un modèle plus simple : nous remplaçons la tôle ondulée par des barres très fines, arrangées périodiquement, voir la figure 1.3.2.

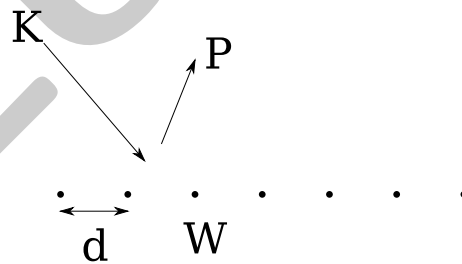


FIGURE 1.3.2: Modèle simplifié avec des barres.

Dans les parties suivantes, nous supposons que la distance entre le feu d'artifice K et le mur W ainsi que la distance du mur W à la personne P sont grandes (grandes par rapport à la dimension du mur W).

Dans ce qui suit, nous voulons examiner le phénomène selon deux approches différentes.

Partie B. La cascade d'impulsions

6.5 pt.

Dans ce sous-problème, nous considérons la détonation du feu d'artifice comme une onde de pression de très courte durée temporelle.

i. Tout d'abord, nous considérons une configuration particulière dans laquelle le feu d'artifice explose dans un prolongement du mur, voir la figure 1.3.3. L'onde de choc de la détonation

est diffusée à chaque barre. Quelle est la différence de temps Δt_1 , Δt_2 et Δt_3 entre les ondes diffusées par deux barres voisines pour les trois personnes P_1 , P_2 et P_3 respectivement ?

2 pt.

In all cases : Two successive bangs origin from the scattering of neighbouring bars. Therefore it suffices to compute the additional propagation distance between neighbouring bars (give these points also in case it is not implicitly mentioned but the following computation correct).

0.5 pt.

For P_1 : Consider one bar. To reach the right sided neighbouring bar, the bang needs to travel a distance of d . Then to return to the considered bar, the scattered bang travels another distance d . The additional distance is $2d$, hence the $\Delta t_1 = \frac{2d}{c}$.

0.5 pt.

For P_2 : The bang needs again to travel a distance d to reach the next right sided neighbouring bar. Since the scattered bangs travel perpendicular to the corrugated iron to reach P_2 (and P_2 is far away), there is no additional distance. The total path difference is only d , hence the $\Delta t_1 = \frac{d}{c}$.

0.5 pt.

For P_3 : In this case, the bang getting scattered at a bar overlaps with the original bang. Therefore all the scattered bangs arrive simultaneously, hence $\Delta t = 0$.

0.5 pt.

ii. Comment se produit le bourdonnement ?

1 pt.

The buzzing sound origins from the cascading of the scattered bangs.

1 pt.

iii. Quelles sont les fréquences f_1 , f_2 et f_3 du bourdonnement pour les personnes P_1 , P_2 et P_3 ? Justifiez votre réponse sans utiliser l'équation (1.3.4).

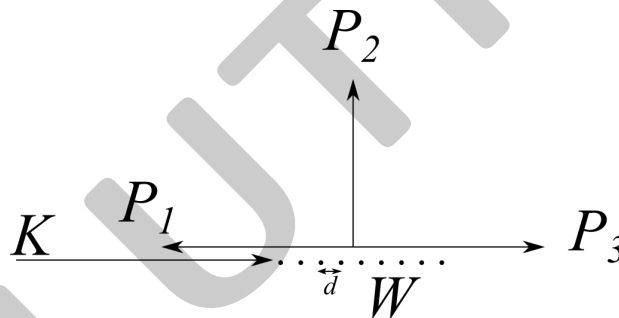


FIGURE 1.3.3: Configuration particulière avec 3 personnes.

Note : If the equation (1.3.4) is used or of the result is given without explanation, give 0 points ! Exception : The general equation (1.3.4) is derived correctly and it is explained how to use it (i.e. what values of α and β inserted).

1.5 pt

The frequency is given by $f = \frac{1}{T}$ where T is the period.

For P_1 we get $f = \frac{c}{2d}$.

0.5 pt.

For P_2 we get $f = \frac{c}{d}$.

0.5 pt.

For P_3 we have to be careful : We hear a single bang, because all the scattered bang arrive at the same time. So no particular frequency can be attributed.

0.5 pt.

iv. Pour des angles d'incidence et de réflexion quelconques α et β (voir fig. 1.3.5), on entend à l'endroit P une fréquence

$$f(\alpha, \beta) = \frac{f_d}{\cos(\alpha) + \cos(\beta)}. \tag{1.3.4}$$

Dérivez cette équation et calculez f_d .

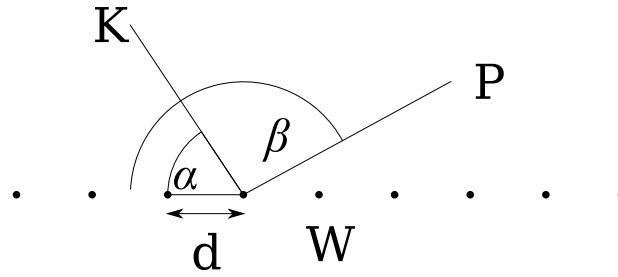


FIGURE 1.3.5: Configuration générale.

Note : If the equation (1.3.4) is used or if the result is given without explanation, give 0 points! Exception : The general equation (1.3.4) is derived correctly and it is explained how to use it (i.e. what values of α and β inserted).

2 pt.

The frequency is given by $f = \frac{1}{T}$ where T is the period.

Consider again a bar. The additional path length for the bang to reach the right handed neighbour is $\cos(\alpha)d$.

0.5 pt.

The additional path length from the right handed neighbour to P is $\cos(\beta)d$.

0.5 pt.

The total temporal delay is therefore $\Delta t = \frac{d(\cos(\alpha)+\cos(\beta))}{c}$ (0.25 points are given for dividing by c and 0.25 points for adding the two path length).

0.5 pt.

We get the frequency by taking the reciprocal value $f = \frac{1}{\Delta t}$.

Therefore we have $f_d = \frac{c}{d}$ (these points are given for the right result even if there is no or a wrong explanation).

0.5 pt.

Partie C. Les ondes

4 pt.

Une détonation peut également être considérée comme une superposition de nombreuses ondes planes de différentes fréquences. Dans cette partie nous allons étudier une onde plane d'une certaine fréquence f faisant partie du spectre de la détonation, qui est diffusée par les tiges. En particulier, nous ne considérons plus explicitement une détonation.

i. Quelle condition doit être remplie pour qu'une personne P puisse entendre la fréquence f ? Que peut-on dire sur la différence de marche?

1 pt.

The scattered waves from the different bars must interfere constructively.

0.5 pt.

Therefore the difference of the path length of the different scattered waves must be a multiple of the wavelength $\Delta l = m\lambda$, $m \in \mathbb{N}$ (these points are also given if the multiple path length is mentioned in the next task).

0.5 pt.

ii. Pour quel angle de sortie β (voir la figure 1.3.5) une personne entend-elle cette fréquence f ? Effectuez le calcul pour un angle d'incidence α quelconque.

2 pt.

For the frequency f we have a wavelength $\lambda = \frac{c}{f}$ (give these points also if it is mentioned in the previous task).

0.5 pt.

The additional path length is $\Delta l = d(\cos(\alpha) + \cos(\beta))$.

0.5 pt.

Equating the additional path length with a multiple of λ .

0.5 pt.

Final result : $\beta = \arccos\left(\frac{m\lambda}{d} - \cos(\alpha)\right)$.

0.5 pt.

If only the first order $m = 1$ or $m = -1$ is used, punishment of -0.25 points.

iii. Comparez votre résultat avec l'équation (1.3.4).

1 pt.

For $m = 1$ (give these points only if the computation above is also done with a general $m \in \mathbb{N}$ and don't if $m \pm 1$),

0.5 pt.

and solving for $f = \frac{c}{\lambda}$ we get the same result (give these points even if nothing else in this part C is done but the student realizes that the two approaches are the same).

0.5 pt.

Partie D. La vitesse du son

4 pt.

i. Dans cette partie, nous voulons partir du phénomène de la partie A pour déterminer la vitesse du son. Posons l'angle d'incidence $\alpha = 45^\circ$ (voir fig. 1.3.5) et la distance entre les barres $d = 20$ cm. On répertorie dans la table 1.3.6 la fréquence mesurée pour différents angles de réflexion β . Tracez les mesures dans un graphe adapté et déterminez la vitesse du son c à l'aide de ces mesures.

Indice : vous pouvez utiliser l'équation (1.3.4) et, si vous n'avez pas calculé f_d , utilisez $f_d = \pi \frac{c}{d}$.

$\beta/^\circ$	f/Hz
0	930
30	1150
60	1390
90	2410
120	7450

TABLE 1.3.6: Mesures de la fréquence f pour différents angles de réflexion β .

Concerning the plot (total 2 points): It does not matter what plot a student draws (i.e. whether it is a β - f plot or a β - c plot. Distribute the points as follows:

4 pt.

Axis labelled (0.25 points for x and y each).

0.5 pt.

Scale of axis visible and reasonable (0.25 points for x and y each).

0.5 pt.

Both axis drawn with ruler (i.e. straight line).

0.25 pt.

Big enough plot.

0.25 pt.

Data points correctly drawn (only 0.25 points if one point is clearly wrong and 0 points if two or more are wrong).

0.5 pt.

Punishment of 0.5 points if the data points are connected with a line (no matter whether straight or curved line) but trend line is ok.

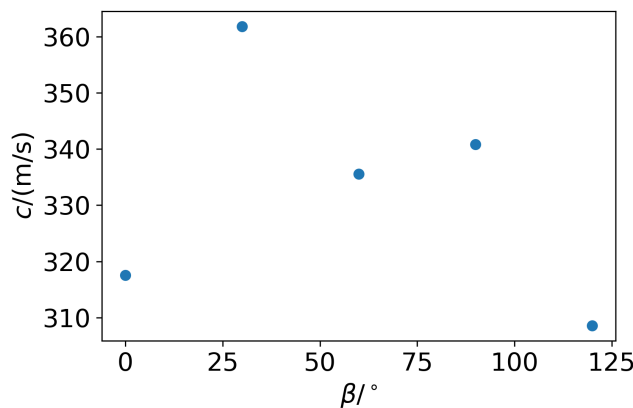


FIGURE 1.3.7: Computed speed of sound.

Concerning the data evaluation (2 points): There is no punishment if $f_d = \pi \frac{c}{d}$ is used, but the result is simply smaller by a factor of π .

Computation of the speed of sound correctly: $c = df (\cos(\alpha) + \cos(\beta))$.

Reasonable method to evaluate the data (for example compute for each data point the speed of sound and take the average or guess the average by inserting a trend line in the β - c plot).

Get the correct value of $333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (give points in between the interval $328 - 338 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$).

SOLUTIONS