

Dans tous les exercices « exprimer » signifie donner l'expression littérale et « calculer » demande l'expression littérale puis l'application numérique (avec calculette).

ENERGIES

Dans tous les exercices, justifiez le signe des travaux et échanges d'énergie.
L'accélération de la pesanteur vaut $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ et 1 calorie vaut 4,19 J.

Force gravitationnelle sur une étoile:

On considère une galaxie de masse totale M en forme de disque épais, avec une concentration d'étoiles qui s'amenuise du centre au bord avec une longueur caractéristique a dans le plan du disque et une longueur $\pm b$ perpendiculairement au disque. La position d'une étoile particulière est repérée par ses coordonnées cylindriques (R, θ, z) où R donne la distance au centre O dans le plan du disque (qui passe par O), l'angle θ donne l'azimut autour de O dans ce plan et z donne l'altitude de l'étoile perpendiculairement à ce plan.

L'étoile de masse m subit la résultante des attractions gravitationnelles de toutes ses congénères. Cela correspond à une énergie potentielle de la forme:

L'énergie ne dépend pas de θ à cause de la symétrie de révolution du disque.

1. Tracer les allures de l'énergie potentielle $E(R \gg a, 0)$ et $E(0, z \gg a)$.
2. Indiquer la direction et le signe des composantes radiales et verticales de la force gravitationnelle que subit l'étoile.
3. Exprimer les composantes radiale et verticale de la force gravitationnelle.
4. Exprimer le module F de la force pour $R = 2a, z = 0$ et calculer le module de l'accélération gravitationnelle qui retient l'étoile dans la galaxie pour $M = 10^{41} \text{ kg}$, $m = 10^{30} \text{ kg}$, $a = 10^{20} \text{ m}$, $b = 3 \cdot 10^{18} \text{ m}$ et la constante de la gravitation $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$.



$$E(R, z) = \frac{-GMm}{\left[R^2 + \left(a + [z^2 + b^2]^{1/2} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

Lancer au curling:

Une pierre de curling, de masse M , est lancée sur la piste verglacée avec une vitesse initiale v_0 . Malgré les coups de balai des joueurs, la pierre doit franchir une bande légèrement rugueuse de largeur D où la force de frottement vaut, en norme, une fraction f du poids de la pierre. A quelle condition sur v_0 la pierre pourra-t-elle atteindre la cible située au delà de la bande rugueuse?



Voyage d'anguille:

Une anguille adulte peut développer une vitesse v_a de 14 km/h. Une rivière présente une petite chute de hauteur h . On mesure une vitesse $v_0 = 2 \text{ km/h}$ de l'eau en amont de la chute. Calculer le dénivelé maximum que peut remonter l'anguille.

Epreuve de patinage de vitesse:

Les champions de roller de vitesse atteignent une vitesse moyenne v de 40 km/h dans les épreuves de longueur $L = 10 \text{ km}$. La force de frottement contre l'air s'exprime selon $F = \frac{1}{2} A \rho v^2$ où la masse volumique de l'air vaut $\rho = 1.3 \text{ kg m}^{-3}$ et la surface équivalente de frottement du patineur est réduite à $A = 0.3 \text{ m}^2$ grâce à une combinaison appropriée. Son rendement ε pour transformer l'énergie métabolique en énergie mécanique est de 50 %.

1. Calculer la puissance métabolique Π qui lui sert à vaincre la résistance de l'air.
2. Sachant qu'un gramme de graisse peut fournir 9.3 kcal, combien de graisse brûle un champion pendant une course?

Heurtoir de train:

Un heurtoir équipé de deux vérins doit pouvoir absorber l'énergie cinétique d'une rame de RER de masse $m = 100$ tonnes et de vitesse $v = 20$ km/h sur une longueur inférieure ou égale à 3 m. On modélisera les vérins du heurtoir comme des ressorts identiques de raideur k et de longueur au repos $L = 3$ m. On prendra un axe Ox horizontal orienté selon la figure ci contre.



1. Exprimer l'énergie potentielle d'un vérin comprimé, dont la tête est à l'abscisse x .
2. Calculer la constante de raideur k capable de répondre aux spécifications.

Dissociation d'une molécule diatomique:

L'énergie potentielle d'interaction entre les atomes d'une molécule diatomique, séparés par une distance r , est donnée par l'expression du potentiel de Morse :

A , r_0 et a sont des constantes positives dont on cherche à déterminer $E(r) = A \left[1 - e^{-a(r-r_0)} \right]^2$ la signification physique.

1. Exprimer les forces d'interaction moléculaire.
2. Déterminer la position d'équilibre. Cet équilibre est-il stable ?
3. Exprimer l'énergie de dissociation de la molécule.

Energie électrique près du sol:

On appelle champ électrique le vecteur \vec{E} tel que la force électrique agissant une charge q vaut $\vec{F} = q\vec{E}$. Dans des conditions normales, il existe un champ électrique au dessus du sol, dirigé vers le bas.

Dans les couches basses de l'atmosphère, ce champ diminue avec l'altitude z au dessus du sol selon $|E(z)| = a - b.z$ avec $a = 120$ V/m et $b = 0.03$ V m⁻². On prendra le sol comme origine de l'altitude et du potentiel électrique correspondant.

1. Exprimer la valeur algébrique de la force F subie par une charge q située à une altitude inférieure au kilomètre.
2. Exprimer le potentiel électrique $V(z)$.
3. Calculer le gain/perte d'énergie potentielle d'un électron de charge $e = -1.602 \cdot 10^{-19}$ C, produit au sol et qui migrerait à une altitude $H = 1$ km.

GAZ PARFAITS

On donne les constantes suivantes:

constante des gaz parfaits $R = 8.31$ J K⁻¹ mole⁻¹

masses molaires: $M(H) = 1$ g, $M(C) = 12$ g, $M(N) = 14$ g, $M(O) = 16$ g

L'accélération de la pesanteur vaut $g = 9.81$ m s⁻².

Petits plats au four à micro-ondes:

Persuadés d'avoir à travailler tard sur vos cours, vous vous préparez une série de petits plats pour les jours suivants. Vous les laissez refroidir à la température $T_0 = 25^\circ\text{C}$ et à la pression $p_0 = 1$ atm de la cuisine, puis vous les mettez dans des récipients hermétiques rigides, en laissant un peu d'air sous le couvercle. Vous mettez les petits plats au réfrigérateur à la température $T_1 = 4^\circ\text{C}$.

1. Quelle est la pression p_1 de l'air dans un récipient à l'équilibre thermique?
2. Vous réchauffez un récipient au four à micro-ondes. La température interne atteint $T_2 = 60^\circ\text{C}$. Calculer la force de pression qui s'exerce sur un couvercle de surface $S = 100$ cm². Quelle précaution auriez-vous dû prendre?

Ventouse:

On applique une ventouse en plastique semi-souple, hémisphérique, de rayon $R = 5$ cm sur une vitre. La température de l'air ambiant vaut $T = 20^\circ\text{C}$ et sa pression $p = 1$ atm. En appuyant sur la ventouse, on chasse la moitié des molécules d'air qu'elle retenait. On relâche l'appui en redonnant à la ventouse sa forme initiale sans faire rentrer d'air. L'opération est isotherme.

1. Calculer la pression p' de l'air dans la ventouse.
2. Quel poids de vitre peut-on porter avec une telle ventouse? Pourquoi?

Oxygène au ski:

Une télécabine dans une station de ski contient un volume $V = 8 \text{ m}^3$ d'air sous une pression $p = 0.9 \text{ atm}$ et une température $T = 0^\circ\text{C}$. L'air est principalement composé de diazote et dioxygène avec un pourcentage molaire de O_2 de 25%.

1. Calculer la masse molaire M de l'air.
2. Exprimer la masse volumique ρ et la masse totale m d'air dans la cabine. Calculer m .
3. Calculer les pressions partielles d'oxygène et d'azote dans la trachée des passagers de la cabine.
4. Calculer les nombres de moles de O_2 et N_2 dans la cabine. Comparer à la consommation typique d'un passager (0.005 mole d'oxygène par inspiration).

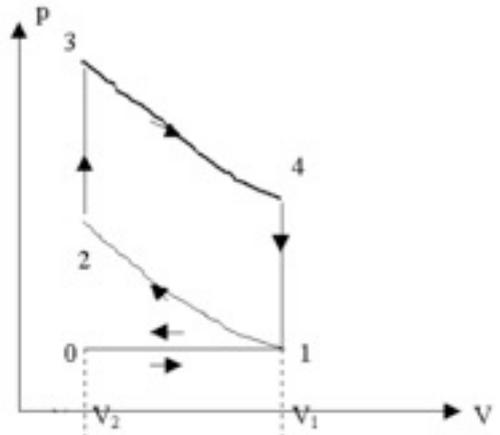
Perte de chaleur dans une canalisation:

Une canalisation est parcourue par de la vapeur d'eau qu'on considérera comme un gaz parfait. La température d'entrée de la vapeur est $T_1 = 300^\circ\text{C}$ et la pression $p_1 = 5 \text{ bars}$. La canalisation perd de la chaleur par conduction de la paroi métallique avec l'air extérieur. La puissance perdue intégrée sur la longueur de la canalisation est proportionnelle à l'écart de température entre T_1 et la température externe $T_{\text{ex}} = 50^\circ\text{C}$, avec une constante de proportionnalité $r = 0,06 \text{ W K}^{-1}$. Le temps de passage Δt de la vapeur dans la canalisation est de 3 s pour un débit massique $Q_m = 0,1 \text{ kg/s}$. La.

1. Calculer la masse molaire de la vapeur d'eau.
2. Exprimer l'énergie interne U_1 de n moles de vapeur d'eau à l'entrée de la canalisation.
3. Exprimer l'énergie U_c perdue par conduction pendant une durée Δt .
4. Calculer la variation $\Delta T = T_2 - T_1$ de la vapeur à la sortie de la canalisation.
5. Comment varierait ΔT si on prenait en considération l'énergie de rotation des molécules d'eau et 3 degrés de liberté de vibration?
6. Calculer la vitesse quadratique moyenne des molécules d'eau à l'entrée de la canalisation dans les deux cas (gaz parfait et gaz réel).

Moteur à essence:

Le cycle théorique (idéalisé) de l'air dans un moteur à essence est représenté sur le schéma pression-volume ci-contre. On donne le rapport de compression $c = V_1/V_2 = 10$ du moteur. Les phases 0-1 et 1-0 correspondent à l'admission d'air frais et à l'échappement des gaz après combustion. On s'intéresse au cycle fermé 1-2-3-4. Les phases 2-3 et 4-1 sont isochores. Les phases 1-2 et 3-4 sont adiabatiques. On rappelle les relations qui lient la pression p , le volume V et la température T dans une évolution adiabatique: $pV^\gamma = \text{cte}$ et $TV^{(\gamma-1)} = \text{cte}$. On considérera l'air comme un gaz parfait, mais diatomique, avec un indice adiabatique $\gamma = 7/5$.



1. Calculer l'échange de chaleur Q_{12} de l'air pendant la phase 1-2 de compression adiabatique.
2. Exprimer le travail W_{12} de l'air pendant cette phase en fonction de p_1 , V_1 , γ et c . Quel est le signe de W_{12} ?
3. Par analogie, donner la valeur de Q_{34} et le signe de W_{34} pendant la phase 3-4 de détente adiabatique.
4. Calculer W_{23} et W_{41} .
5. Donner le signe des chaleurs Q_{23} et Q_{41} échangées par l'air pendant les phases correspondantes.
6. En prenant le cycle complet, exprimer le travail total W_{tot} échangé par l'air avec le milieu extérieur en fonction de Q_{23} et Q_{41} . Commenter le signe de W_{tot} .
7. On définit le rendement ε d'un moteur thermique comme le rapport, en valeur absolue, du travail fourni par le gaz sur la chaleur qu'il a reçue. Exprimer ε en fonction des températures T_1 , T_2 , T_3 et T_4 .
8. Comparer les rapports T_3/T_4 et T_2/T_1 .
9. Calculer la puissance qu'il faut apporter par la combustion de l'essence au moteur ci dessus pour développer une puissance mécanique d'environ 110 ch, soit 81 kW.