

Colle PC*

Colle 1.

Question de cours.

Etablir le premier principe pour un écoulement stationnaire

Exercice 1. Modèle de propulsion d'une fusée.

On veut modéliser la propulsion d'une fusée. Celle-ci se fait par combustion des propergols (noms génériques des espèces chimiques utilisées). La réaction chimique produit un gaz à haute température et haute pression qui est éjecté, ce qui entraîne le mouvement de la fusée.

1. En raisonnant sur le système {fusée+ gaz éjecté} expliquer qualitativement en quoi ce mécanisme permet effectivement de faire avancer la fusée.

Afin d'identifier les paramètres pertinents du problème on considère que la chambre de combustion est remplie d'un gaz parfait de coefficient γ , à la température T_1 et à la pression P_1 qui se détend de manière très rapide dans une tuyère donnant dans le vide.

2. Sur la base d'hypothèses raisonnables, exprimer la vitesse d'éjection v_E du gaz en fonction des données et de sa masse molaire M .
3. Faire une AN pour de l'hydrogène moléculaire initialement à la température de 1000K (pour les molécules diatomiques $\gamma = 1,4$)
4. Quels sont alors, selon vous, les critères sur lesquels sont choisis les propergols ?
5. Discuter les limites du modèle sur lequel on a basé les calculs.

Exercice 2. Enrichissement isotopique.

On étudie le mouvement d'une particule quantique dans une marche de potentiel $V(x)$:

- $V(x) = 0$ pour $x < 0$
- $V(x) = V_0$ (> 0) pour $x > 0$.

1. Etablir l'expression du coefficient de réflexion en amplitude de la fonction d'onde pour une particule de masse m , d'énergie E arrivant de $-\infty$.

On considère un faisceau non relativiste de particules identiques composé de deux isotopes de masse m_1 et m_2 de même vitesse arrivant sur la marche de potentiel.

2. Discuter la possibilité d'enrichir un faisceau d'isotopes homocinétiques en fonction du signe de $E - V_0$.
3. Prévoir qualitativement si le faisceau réfléchi est plus riche en isotope de masse la plus grande ou la plus petite.
4. On se place dans le cas limite où $E \gg V_0$. Donner une expression approchée de la probabilité de réflexion R sur la marche de potentiel.
5. Former le rapport R_1/R_2 en fonction du rapport des masses m_1/m_2 et conclure

Colle 2

Exercice 1. Puits quantique variable.

Une particule quantique libre est confinée dans un puits (de profondeur infinie) unidirectionnel de largeur L . Décrivez la dynamique quand L varie de L_0 à $2 L_0$:

- a) Très lentement
- b) Très rapidement

On expliquera ces deux termes dans le contexte envisagé. On pourra considérer qu'à $t=0$ la particule se trouve dans l'état fondamental du puit

Exercice 2. Amélioration du chauffage d'une serre.

On souhaite maintenir la température d'une serre à la valeur constante $T_S = 293 \text{ K}$. L'air extérieur est à la température $T_{\text{ext}} = 273 \text{ K}$. La serre fait une surface $S = 1000 \text{ m}^2$. Les pertes thermiques avec l'extérieur sont évaluées à $\varphi = 40 \text{ W.m}^{-2}$. On utilise une chaudière à la température $T_C = 600 \text{ K}$ capable de fournir un transfert thermique à un circuit d'eau. On s'autorise une variation maximale de 60°C pour l'eau.

1. Si le circuit d'eau est simplement amené via des échangeurs à réchauffer l'air de la serre, quel est le débit massique minimum que l'on doit assurer dans le circuit d'eau liquide ?

On décide de ne pas utiliser directement la chaudière pour chauffer la serre mais d'adopter le dispositif suivant : la chaudière fournit le transfert thermique à l'agent thermique d'un moteur cyclique réversible fonctionnant entre la chaudière à la température T_C et l'air extérieur à T_{ext} . Le travail récupéré du moteur est utilisé pour actionner une pompe à chaleur réversible fonctionnant entre l'air extérieur et l'air intérieur de la serre.

2. En définissant clairement vos notations, reporter sur un schéma de principe les différents échanges énergétiques algébriques mis en jeu de la chaudière à l'air intérieur. On précisera leur signe.

3. Etablir le rapport entre la puissance thermique reçue par l'air intérieur et la puissance thermique délivrée par la chaudière. Commenter.

Données :

- *Capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.*

Colle 2 bis .

Question de cours.

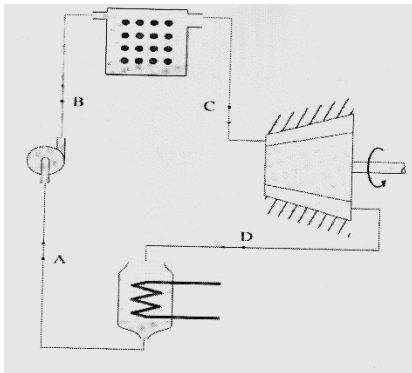
Retrouver les énergies et les états stationnaires d'un puits infini.

Expliquer comment se positionnent les niveaux d'énergie du puits infini par rapport à ceux du puits fini.

Exercice . Etude du cycle d'une centrale thermique.

La centrale EDF de Porcheville reçoit de la chaleur issue de la combustion isobare du fioul, et utilise un cycle à vapeur pour alimenter une génératrice électrique.

Dans la centrale, l'eau évolue entre les pressions 0,2 bar et 100 bar. La vapeur atteint 500°C en sortie de la chaudière, et les transformations dans la turbine et la pompe sont supposées isentropiques. Le cycle suivi est celui dit de « Rankine surchauffé » et correspond au schéma suivant :



A à B : pompe ; B à C : chaudière ; C à D : turbine ; D à A condenseur (où l'on suppose la condensation totale).

1. Schématiser le cycle de l'eau dans la centrale sur le diagramme des frigorigènes joint, sur lequel ont été représentées des courbes isothermes, isentropiques et isotitres.

2. Quelle est l'enthalpie de l'eau à la sortie de la turbine ?
3. Quelle est l'enthalpie de l'eau à la sortie de la pompe ?
4. Quel est le rendement thermodynamique de l'installation ?

Colle 3.

Question de cours :

Enoncé les lois de Laplace puis les démontrer.

Exercice . Potentiel inconnu.

On considère un faisceau de particules quantiques venant de $-\infty$, de masse m et d'énergie E . Chaque particule est astreinte à se déplacer suivant l'axe (Ox) . Elles sont soumises par ailleurs à un potentiel $V(x)$ inconnu mais qui s'annule à l'infini.

La probabilité de présence d'une particule dans les conditions proposées est représentée ci-dessous.

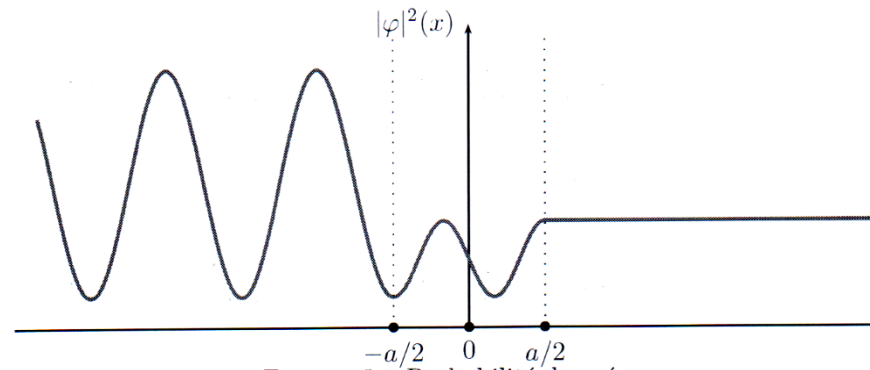


FIGURE 3 – Probabilité de présence

1. L'état d'une particule est-il un état lié ou un état de diffusion ?
2. Interpréter la partie oscillatoire pour $x < -a/2$.
3. Retrouver le potentiel $V(x)$ en analysant la figure ci-dessus.
4. Proposer une forme mathématique pour la fonction d'onde des particules en précisant les conditions de raccordement.

L'énergie potentielle d'une particule de masse m constituant un oscillateur harmonique est

$$E_p(x) = \frac{1}{2}m\omega^2x^2.$$

1. Que dit la physique classique concernant l'état de plus basse énergie mécanique de la particule ?
2. Qu'en sera-t-il si on analyse la même situation d'un point de vue quantique ?
3. En utilisant l'inégalité d'Heisenberg spatiale donner une expression en fonction de la dispersion spatiale Δx de l'énergie de cette particule dans son état fondamental.
4. Minimiser cette énergie en considérant Δx comme variable. En déduire une expression de $E_{\min}$ et de Δx en fonction de m , ω et de la constante de Planck.

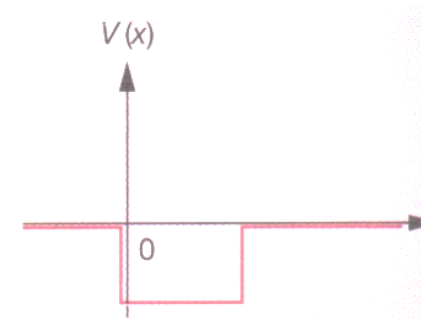
Circuit LC

On considère un circuit LC formé d'une capacité de $C=100$ pF et d'une bobine de $L=0,10$ mH. Initialement le condensateur a été chargé sous une tension de $U=1$ mV. Le comportement dynamique de ce système doit-il être décrit par la physique quantique ou une description classique est-elle suffisante ?

Puits de potentiel fini. Oscillateur harmonique quantique et inégalités d'Heisenberg.

Soit le puits de potentiel représenté ci-dessous auquel est soumise une particule de masse m .

1. Suivant les valeurs de l'énergie E de la particule, dire si un stationnaire sera un état lié ou un non. A-t-on des états discrets ou un continuum ?
2. Tracer l'allure de la fonction du fondamental.
3. Son énergie est-elle a priori supérieure ou inférieure à celle du fondamental d'un puits infini de même largeur ? (on s'inspirera des inégalités d'Heisenberg).



Machine à sources réelles (Oral Centrale/Supélec).

On dispose de 3 corps indilatables incompressibles identiques et de capacité thermique C . Leurs températures initiales sont respectivement $T_{01} = 100$ K, $T_{02}=T_{03}= 300$ K.

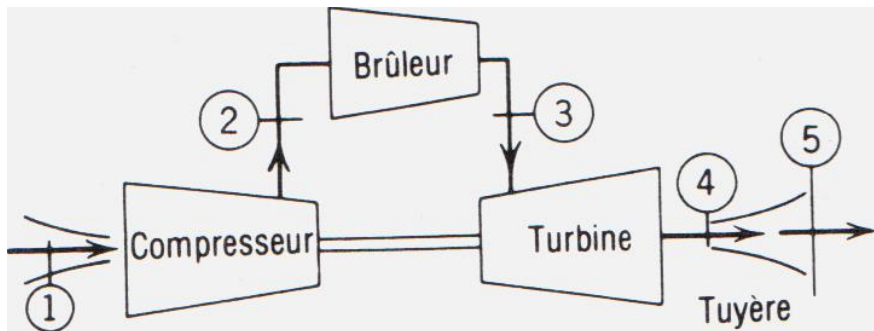
Exprimer puis calculer la température maximale $T_{\max}$ que peut atteindre l'un des trois corps sans fournir d'énergie au système. On expliquera clairement la démarche.

Toutes les transformations seront considérées comme réversibles.

Le point crucial dans ce cycle est que le travail récupérable à la turbine fournit exactement l'énergie nécessaire au fonctionnement du compresseur.

Cycle dans un turboréacteur

On étudie le « cycle » théorique de la propulsion par jet illustré par le schéma ci-dessous et utilisé typiquement dans les turboréacteurs d'avions.



Le gaz circulant dans l'ensemble des éléments est de l'air que l'on assimilera à un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$ et de capacité thermique massique à pression constante $c_p = 1,0 \text{ kJ.K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

L'air rentre dans le compresseur à $P_1 = 0,1 \text{ MPa}$ et $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$. Il ressort à la pression $P_2 = 1,0 \text{ MPa}$ après avoir subi une compression adiabatique.

Il entre alors dans un brûleur où il est mélangé à une faible quantité de carburant (on négligera la quantité de carburant par rapport à celle de l'air) et il se produit une combustion à pression constante faisant ressortir l'air à la température $\theta_3 = 1100^\circ\text{C}$.

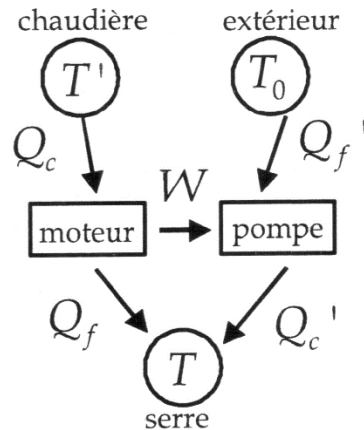
L'air se détend alors dans la turbine en suivant une évolution adiabatique qu'il poursuit dans une tuyère calorifugée et ressort à la pression $P_5 = 0,1 \text{ MPa}$.

1. Dessiner, en le justifiant, l'allure du chemin thermodynamique suivi par le gaz dans un diagramme (T,s).
2. Etablir la valeur du travail massique à fournir au compresseur. On expliquera les approximations retenues
3. En déduire la vitesse de l'air en sortie de la tuyère.
4. On définit l'efficacité de l'opération par le rapport entre deux quantités énergétiques massiques. Que proposeriez-vous et quelle valeur obtient-on ici ?

Chauffage d'une serre.

Pour maintenir une serre à la température $\theta=25^\circ\text{C}$, l'extérieur étant à la température $\theta_0 = 10^\circ\text{C}$, il faut fournir par jour un transfert thermique Q . Ce transfert est fourni par une chaudière qui brûle une masse m de carburant et on a la relation $Q=\alpha m$ où α est une constante. La température de fonctionnement de la chaudière est $\theta'=90^\circ\text{C}$.

On propose d'étudier un autre mode de chauffage utilisant deux machines thermiques cycliques dithermes : un moteur fonctionnant entre les deux sources à θ et θ' et une pompe à chaleur fonctionnant entre l'extérieur et la serre. On donne le schéma énergétique du système.



1. Déterminer l'efficacité maximale de la pompe à chaleur e_p après l'avoir définie.
2. Déterminer le rendement maximal du moteur η après l'avoir défini.
3. Montrer, à l'aide du schéma énergétique, que la masse m' de carburant brûlée chaque jour avec ce dispositif est inférieure à m . exprimer m' en fonction de m .