Sujet n°1 Aubin

Question de cours

On mélange, dans une une bouteille isolée thermiquement, deux masses d'eau liquide (respectivement m_1 et m_2) de températures initiales différentes (resp. T_1 et T_2).

1 - Énoncer le deuxième principe de la thermo.

2 - Exprimer la variation d'entropie.

3 - Exprimer l'entropie échangée.

4 - En déduire l'entropie créée. Commenter.

5 - Citer la/les sources d'irréversibilité de la transformation.

Exercice n°1 Yukawa

Le physicien japonais Yukawa a proposé en 1935 une interprétation des interactions nucléaires. On en donne ici quelques éléments simplifiés.

Dans un référentiel $\mathscr{R}$ supposé galiléen et lié au repère $(Oxyz)$, un nucléon M de masse m est soumis uniquement à une force centrale $\overrightarrow{F}$ dérivant de l'énergie potentielle $E_p(r) = \frac{K}{r}e^{-\frac{r}{a}}$ où K et a sont deux constantes (avec a positive) et r la distance OM. Cette énergie potentielle a pour origine les autres nucléons du noyau atomique.

1 - Quelles sont les dimensions des constantes K et a ?

2 - Déterminer l'expression de la force centrale $\overrightarrow{F}$ subie par le nucléon. Quel doit être le signe de K pour que cette force soit attractive (pour $r > a$) ?

3 - Démontrer que la trajectoire de M se situe dans un plan que l'on précisera.

4 - On choisit ce plan comme plan (Oxy) du repère, et on utilise maintenant les coordonneés polaires de M dans ce plan. Montrer que $C = r^2\dot{\theta}$ est une constante du mouvement, et donner sa valeur à partir des conditions initiales : position $\overrightarrow{OM_0} = r_0\overrightarrow{e_x}$; vitesse $\overrightarrow{v_0} = v_1\overrightarrow{e_x} + v_2\overrightarrow{e_y}$.

5 - Montrer que l'énergie mécanique de M peut s'écrire sous la forme $E_m = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + E_{p,eff}(r)$ avec une fonction $E_{p,eff}(r)$ à préciser. E_m est-elle constante au cours du mouvement ?

6 - Si la valeur de C est suffisamment faible, la courbe représentative de $E_{p,eff}(r)$ présente un minimum en r_1 et un maximum en $r_2 > r_1$.

Déterminer, en fonction des conditions initiales, si le nucléon est dans un état lié ou dans un état de diffusion. Lequel de ces deux cas correspond à la situation usuelle d'un nucléon.

Sujet n°2 Corentin

Question de cours

On étudie une tasse de café chaude abandonnée dans la cuisine qu'on laisse évoluer jusqu'à équilibre.

1 - Énoncer le deuxième principe de la thermo.

2 - Exprimer la variation d'entropie.

3 - Exprimer l'entropie échangée.

4 - En déduire l'entropie créée. Commenter.

5 - Citer la/les sources d'irréversibilité de la transformation.

Exercice n°1 COBE

Le satellite COBE (COsmic Background Explorer) a été lancé en novembre 1989 pour étudier le fond diffus cosmologique, et permettre une meilleure compréhension des premiers instants de l'Univers. Pesant 2270 kg , il a été placé sur une orbite circulaire d'altitude 900 km . Le satellite a été envoyé depuis la base de Vandenberg, en Californie, à une latitude de 34°N.

1 - Justifier que le mouvement circulaire est nécessairement uniforme.

2 - Établir l'expression de la norme du vecteur vitesse.

3 - Déterminer la période du satellite sur son orbite.

4 - Quel est le mouvement du satellite dans le référentiel géocentrique tant qu'il est sur Terre ? quelle est sa vitesse ? son énergie mécanique ?

5 - Calculer le surplus d'énergie qui a été apporté au satellite pour le placer sur son orbite.

Données : $M_T = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg et $R_T = 6,4 \cdot 10^6$ m.

Exercice n°2 Hipparcos

Lors de son lancement, le satellite d'observation Hiparcos est resté sur son orbite de transfert à cause d'un problème technique. On l'assimile à un point matériel M de masse $m = 1,1$t. L'orbite de transfert est elliptique et la distance Terre-satellite varie entre $d_p = 200$ km au périgée et $d_A = 36,9 \times 10^3$ km à l'apogée. On rappelle que le périgée est le point de l'orbite le plus proche de la Terre et que l'apogée est le point le plus éloigné. On mesure la vitesse du satellite à son apogée : $v_A = 3,5 \times 10^2$ m $\cdot$ s^{-1}.

1 - Faire un schéma de la trajectoire en faisant apparaître la position O du centre de la Terre, l'apogée A et le périgée P.

2 - Déterminer le demi-grand axe a de la trajectoire.

3 - En déduire l'énergie mécanique et la période du satellite.

4 - On note v_A et v_P les vitesses du satellite en A et en P. Exprimer le module du moment cinétique calculé au point O du satellite à son apogée puis à son périgée.

5 - En déduire la vitesse du satellite à son périgée.

Sujet n°3 Mia

Question de cours

On considère n moles d'un gaz parfait initialement à la température T_1, est placé en contact avec un thermostat à la température T_2 jusqu'à l'équilibre thermique.

1 - Énoncer le deuxième principe de la thermo.

2 - Exprimer la variation d'entropie.

3 - Exprimer l'entropie échangée.

4 - En déduire l'entropie créée. Commenter.

5 - Citer la/les sources d'irréversibilité de la transformation.

Exercice n°1 Satellite en orbite basse

On étudie le mouvement d'un satellite artificiel S en orbite autour de la Terre dans le référentiel géocentrique, supposé galiléen. On note M la masse de la Terre, $m \ll M$ la masse du satellite et G la constante de gravitation universelle.

Données : $M = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg ; rayon terrestre $R = 6,4 \cdot 10^3$ km ; $G = 6,7 \cdot 10^{-11}\ \mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$. Dans un premier temps, on néglige les autres interactions que la force de gravitation entre la Terre et le satellite, et on suppose l'orbite circulaire de rayon r parcourue à la vitesse angulaire ω.

1 - Établir l'expression de la vitesse v du satellite en fonction de G, M et r. La calculer numériquement pour une orbite d'altitude 1000 km .

2 - Exprimer successivement l'énergie potentielle, l'énergie cinétique et l'énergie mécanique du satellite.

Les satellites en orbite basse subissent des frottements de la part des hautes couches de l'atmosphère. Ces frottements limitent la durée du vie des satellites en les faisant lentement chuter sur Terre. Ainsi, un satellite situé sur une orbite à 1000 km d'altitude descend d'environ 2 m par jour. On modélise l'action des hautes couches de l'atmosphère par une force de frottement quadratique proportionnelle à la masse du satellite,

$$\overrightarrow{f} = -\lambda m v \overrightarrow{v}.$$

Cette force est suffisamment faible pour que la trajectoire demeure quasi-circulaire : les expressions obtenues pour une orbite circulaire demeurent valables, mais le rayon r de l'orbite varie lentement au cours du temps.

3 - À l'aide d'un théorème énergétique, établir l'équation différentielle vérifiée par r.

4 - Sans résoudre cette équation, montrer que les frottements font bien descendre le satellite. En déduire un résultat surprenant concernant l'effet des frottements sur la vitesse du satellite.

5 - Déterminer l'évolution de r en fonction du temps. En déduire l'expression et la valeur numérique du coefficient de frottement λ.

Sujet n°4 Arthur

Question de cours

On considère n moles d'un gaz parfait initialement à la température T_1, est placé en contact avec un thermostat à la température T_2 jusqu'à l'équilibre thermique.

1 - Énoncer le deuxième principe de la thermo.

2 - Exprimer la variation d'entropie.

3 - Exprimer l'entropie échangée.

4 - En déduire l'entropie créée. Commenter.

5 - Citer la/les sources d'irréversibilité de la transformation.

Exercice n°1 Trou noir

Cet exercice propose de calculer l'ordre de grandeur de la taille et de la densité d'un trou noir dans un modèle heuristique de physique newtonienne. Considérons pour cela un point matériel M de masse m à proximité d'un astre sphérique de masse m_0, de rayon R et de centre O. Cet astre est supposé suffisamment massif pour que l'on puisse considérer que M n'est soumis qu'à la force gravitationnelle due à l'astre. On étudie le mouvement de M dans le référentiel $\mathcal{R}$ astrocentrique, que l'on suppose galiléen.

1 - Exprimer la force gravitationnelle ressentie par M ainsi que l'énergie potentielle dont elle dérive en la supposant nulle à l'infini. Exprimer l'énergie mécanique de M. Celle-ci se conserve-t-elle ?

2 - Montrer que le mouvement de M est nécessairement plan. M étant alors repéré par ses coordonnées polaires, montrer que $C = r^2\dot{\theta}$ est une constante du mouvement.

3 - Montrer que l'énergie mécanique peut se mettre sous la forme $E_\mathrm{m} = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + E_\mathrm{p,eff}(r)$, en introduisant l'énergie potentielle effective $E_\mathrm{p,eff}(r)$ dont on précisera l'expression en fonction de r.

4 - Tracer l'allure de la courbe représentative de $E_\mathrm{p,eff}(r)$. À l'aide d'un raisonnement graphique, déterminer pour quelles valeurs de E_m le point M peut échapper à l'attraction de l'astre, c'est-à-dire se trouver dans un état de diffusion.

5 - En déduire la vitesse de libération v_lib à la surface de cet astre.

6 - Dans la conception classique de Michell, un trou noir est un astre dont la vitesse de libération est supérieure à $c = 3 \cdot 10^8\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Calculer le rayon de Schwarzschild R_S de l'astre, c'est-à-dire le rayon maximal qu'il doit avoir pour être un trou noir.

7 - Calculer numériquement R_S pour le Soleil ($M_\mathrm{S} = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg) et pour la Terre ($M_\mathrm{T} = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg). En déduire la densité minimale d'un trou de noir de cette masse.

Notons toutefois que malgré les deux limites évoquées, le rayon de Schwarzschild donne le bon ordre de grandeur de la taille d'un trou noir de masse m.

Sujet n°5 Romane

Question de cours

Transition de phase.

1 - Énoncer le deuxième principe de la thermo.

2 - Donner la relation entre l'entropie massique de changement d'état et l'enthalpie massique de changement d'état. Quelle est la température qui intervient dans la formule ?

3 - On étudie un glaçon sorti du congélateur à -18 °C et abandonné dans la cuisine à 20 °C :

a) Exprimer la variation d'entropie.

b) Exprimer l'entropie échangée (il faudra établir l'expression du transfert thermique, en utilisant le premier principe).

c) En déduire l'entropie créée. Commenter.

d) Citer la/les sources d'irréversibilité de la transformation.

Exercice n°1 Trou noir

Cet exercice propose de calculer l'ordre de grandeur de la taille et de la densité d'un trou noir dans un modèle heuristique de physique newtonienne. Considérons pour cela un point matériel M de masse m à proximité d'un astre sphérique de masse m_0, de rayon R et de centre O. Cet astre est supposé suffisamment massif pour que l'on puisse considérer que M n'est soumis qu'à la force gravitationnelle due à l'astre. On étudie le mouvement de M dans le référentiel $\mathcal{R}$ astrocentrique, que l'on suppose galiléen.

1 - Exprimer la force gravitationnelle ressentie par M ainsi que l'énergie potentielle dont elle dérive en la supposant nulle à l'infini. Exprimer l'énergie mécanique de M. Celle-ci se conserve-t-elle ?

2 - Montrer que le mouvement de M est nécessairement plan. M étant alors repéré par ses coordonnées polaires, montrer que $C = r^2\dot{\theta}$ est une constante du mouvement.

3 - Montrer que l'énergie mécanique peut se mettre sous la forme $E_\mathrm{m} = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + E_\mathrm{p,eff}(r)$, en introduisant l'énergie potentielle effective $E_\mathrm{p,eff}(r)$ dont on précisera l'expression en fonction de r.

4 - Tracer l'allure de la courbe représentative de $E_\mathrm{p,eff}(r)$. À l'aide d'un raisonnement graphique, déterminer pour quelles valeurs de E_m le point M peut échapper à l'attraction de l'astre, c'est-à-dire se trouver dans un état de diffusion.

5 - En déduire la vitesse de libération v_lib à la surface de cet astre.

6 - Dans la conception classique de Michell, un trou noir est un astre dont la vitesse de libération est supérieure à $c = 3 \cdot 10^8$ m · s^{-1}. Calculer le rayon de Schwarzschild R_S de l'astre, c'est-à-dire le rayon maximal qu'il doit avoir pour être un trou noir.

7 - Calculer numériquement R_S pour le Soleil ($M_\mathrm{S} = 2,0 \cdot 10^{30}$ kg) et pour la Terre ($M_\mathrm{T} = 6,0 \cdot 10^{24}$ kg). En déduire la densité minimale d'un trou de noir de cette masse.

Notons toutefois que malgré les deux limites évoquées, le rayon de Schwarzschild donne le bon ordre de grandeur de la taille d'un trou noir de masse m.

Sujet n°6 Jeanne

Question de cours

On mélange, dans une une bouteille isolée thermiquement, deux masses d'eau liquide (respectivement m_1 et m_2) de températures initiales différentes (resp. T_1 et T_2).

1 - Énoncer le deuxième principe de la thermo.

2 - Exprimer la variation d'entropie.

3 - Exprimer l'entropie échangée.

4 - En déduire l'entropie créée. Commenter.

5 - Citer la/les sources d'irréversibilité de la transformation.

Exercice n°1 Incident de satellisation

Un satellite de masse m est destiné à être placé en orbite circulaire de rayon r_0 autour de la Terre. Pour cela, il est amené à la distance r_0 du centre de la Terre, mais un incident se produit au moment du largage : la vitesse $\vec{v}_0$ qui lui est communiquée a bien la valeur prévue mais est inclinée d'un angle α par rapport à la direction souhaitée.

1 - Déterminer toutes les caractéristiques du vecteur $\overrightarrow{v_0}$ dans la base polaire.

2 - Justifier que la trajectoire du satellite est elliptique et déterminer le demi grand-axe de la trajectoire.

3 - Déterminer les distances r_A et r_P par rapport au centre de la Terre à l'apogée et au périgée.

4 - À quelle condition sur α le satellite s'écrase-t-il sur Terre ?