

Série 10 : Potentiels thermodynamiques et encore un peu de Relativité

Exercice 1 : Relativité des feux

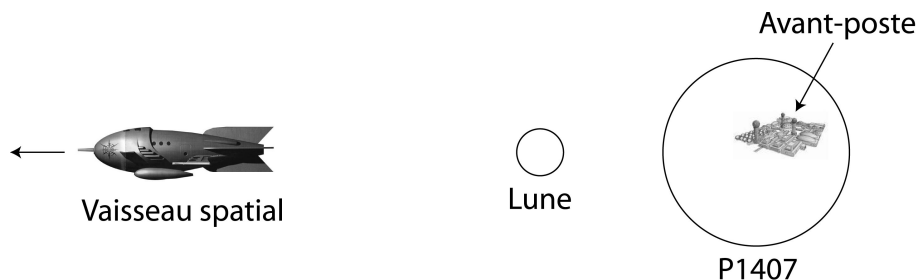
Le long d'une route bien droite dans le désert se trouve un alignement de feux régulièrement espacés d'une distance de 30 mètres. Un feu à la fois émet un flash en séquence à intervalles de $5\mu\text{s}$ entre feux adjacents, mesurés dans le référentiel de la route (du désert). Une voiture roule à la vitesse de $0.2c$ sur cette route dans la même direction que la séquence des flashes.

- A quels intervalles temporels les flashes ont lieu dans le référentiel de la voiture ?
- A quels intervalles temporels ont lieu les flashes dans le référentiel de la voiture, si la voiture roule dans le sens opposé ?
- Est-ce qu'il existe une valeur de la vitesse v pour laquelle les flashes auraient lieu simultanément dans le référentiel de la voiture ?

Considérons maintenant ce que le conducteur de la voiture voit (pour le cas avec vitesse positive v dans la même direction que la séquence des flashes).

- Calculer l'intervalle entre deux flashes consécutifs, vus par le conducteur de la voiture.
- Est-ce qu'il existe une valeur de la vitesse v pour laquelle les flashes seraient vus au même instant par le conducteur ?

Exercice 2 : L'humanité est menacée !



Un vaisseau spatial terrien a été envoyé pour contrôler un avant-poste sur la planète P1407 dont la lune est habitée par un groupe de combattants Reptuliens réputés hostiles. Le vaisseau spatial suit une trajectoire rectiligne. Il passe d'abord à côté de la planète, puis à côté de la lune, et détecte alors une forte bouffée de micro-ondes à haute énergie venant de cette dernière. Dans le référentiel du vaisseau spatial, l'avant-poste terrien explose 1.10s plus tard. Les deux événements, émission de micro-ondes et explosion de l'avant-poste terrien, sont séparés par une distance de $4.00 \times 10^8\text{m}$ dans le référentiel du vaisseau spatial. Les Reptuliens ont sûrement attaqué l'avant-poste et le vaisseau spatial terrien se prépare à une confrontation avec eux.

- La vitesse du vaisseau spatial par rapport à la planète et sa lune est de $0.98c$. Quels sont la distance et l'intervalle de temps entre l'émission de micro-ondes et l'explosion, mesurés dans le référentiel lié à la planète et à la lune ?

- b) Quelle est la signification du signe pour l'intervalle de temps ?
- c) Est-ce la bouffée de micro-ondes qui a provoqué l'explosion ou le contraire ?

On voudrait maintenant savoir ce que exactement voit l'équipe du vaisseau pendant tout cela. Il s'agit donc des observateurs dans un lieu spécifique (et non plus "*dans le référentiel*" stationnaire par rapport au vaisseau). Donc la lumière émise par les 2 événements (bouffée et explosion) doit propager jusqu'au vaisseau pour être observée. Dans un tel problème de transmission, la réception de cette lumière constitue deux nouveaux événements, qui nous intéresseront dans la suite.

Notez : Comme les événements de détection ont lieu sur le vaisseau, il est bien plus facile de les considérer d'abord dans son propre référentiel, et après celui de la planète, dans lequel le vaisseau se déplace.

- d) Supposons que le vaisseau passe juste à côté de la lune quand il détecte la bouffée. Quel intervalle de temps est mesuré à bord du vaisseau, entre leur détection de la bouffée et leur détection de l'explosion ? Vu par la lune, où se trouve le vaisseau quand il détecte l'explosion ?
- e) Et quel serait l'intervalle entre ces deux détections à bord du vaisseau, s'il passe juste à côté de la planète quand il détecte la bouffée ? Vu maintenant de la planète, où se trouve le vaisseau quand il détecte l'explosion ?
- f) Pourquoi est-ce qu'il n'y a pas de contradiction entre d) et e), ou par rapport aux résultats précédents (et l'énoncé) ?

Exercice 3 : La pile à combustible

A l'inverse du processus de l'hydrolyse vu en cours, hydrogène et oxygène peuvent être combinés dans une pile à combustible afin de produire de l'énergie électrique. Une pile à combustible fournit une tension électrique à partir d'une réaction chimique continuellement alimentée par de l'hydrogène et de l'oxygène sous forme gazeuse diatomique. Ce processus a un meilleur rendement énergétique que la simple combustion de l'hydrogène (comme source de chaleur d'un générateur électrique classique) parce qu'il n'est pas sujet à la limite de la deuxième loi de la thermodynamique (qui dit qu'un générateur ne peut pas utiliser toute la chaleur fournie par une source chaude pour produire du travail). L'unique produit de ce processus est de l'eau : la pile à combustible n'est donc pas polluante. Dans la pile à combustible, la combinaison de deux moles d'hydrogène et d'une mole d'oxygène gazeux diatomiques produit deux moles d'eau ainsi qu'une quantité d'énergie sous forme électrique :



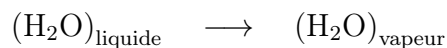
On suppose dans les trois questions suivantes que la réaction dans la pile a lieu à température ambiante ($25^\circ\text{C} = 298.15\text{ K}$) et pression constante ($p = 1\text{ atm}$).

- a) A quel potentiel thermodynamique l'énergie libérée correspond-elle ? Donnez une expression pour l'énergie libérée par la réaction de deux moles d'hydrogène avec une mole d'oxygène.
- b) Combien de litres de gaz d'hydrogène et d'oxygène consomme-t-on pour faire briller une ampoule de 60 W pendant une heure ?
- c) Une voiture équipée d'un moteur à combustion interne consomme 7 litres d'essence aux 100 kilomètres. Sachant que l'essence libère par combustion environ $44 \times 10^3\text{ kJ kg}^{-1}$, que sa masse volumique vaut $\rho = 0.74 \times 10^3\text{ kg m}^{-3}$ et que le rendement du moteur à combustion est de 15%, combien de litres de gaz d'hydrogène et d'oxygène la voiture consommerait-elle aux 100 kilomètres si elle était munie d'un moteur électrique (50% de rendement) avec une pile à combustible ?

Indications : A une pression de 1 atm et à $0^\circ\text{C} = 273.15 \text{ K}$, un gaz parfait occupe un volume de 22.4 l mol^{-1} . Pression atmosphérique : $1 \text{ atm} = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa}$. Valeurs des enthalpies (ΔH_0) et des entropies (ΔS_0) de formation molaires aux conditions standards (1 atm et 25°C) : $\Delta H_0^{H_2} = 0 \text{ J mol}^{-1}$, $\Delta H_0^{O_2} = 0 \text{ J mol}^{-1}$, $\Delta H_0^{H_2O} = -285830 \text{ J mol}^{-1}$, $\Delta S_0^{H_2} = 130.68 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $\Delta S_0^{O_2} = 205.14 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $\Delta S_0^{H_2O} = 69.91 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Exercice 4 : Energie de Gibbs

On considère le processus suivant se produisant sous une pression constante de 1 atm et à 100°C :



La variation d'entropie associée à ce processus par mole vaut $\Delta S = 26.04 \text{ cal mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Calculez la variation d'énergie de Gibbs par mole ΔG et déduisez s'il s'agit d'une évolution spontanée, impossible ou d'un équilibre.

Indications : $1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}$. La chaleur latente d'évaporation de l'eau vaut $L_e = 2258.62 \text{ J g}^{-1}$.