

28 mai 2025

Série 13bis : Transfert de chaleur, relativité restreinte (cinématique)

Exercices supplémentaires chapitre 8

Exercice 1: D'Seegfröri (Niveau 2)

Pendant l'hiver 1962-63, la surface du lac de Zurich a complètement gelé sur une épaisseur de $D = 25$ cm en moyenne. Supposons que la température de l'air pendant le gel était constamment $T_{air} = -15^\circ\text{C}$ et celle de l'eau à $T_{eau} = 0^\circ\text{C}$. La chaleur libérée par l'eau qui gèle à l'interface eau-glace est conduite à travers la couche de glace jusqu'à l'interface glace-air. Combien de temps t_D a-t-il fallu pour former cette couche de glace ?

Indications : Densité massique de la glace $\rho_{glace} = 917 \text{ kg m}^{-3}$, chaleur latente de fusion de la glace $L_f = 333.6 \text{ kJ kg}^{-1}$, coefficient de conductivité thermique de la glace $\lambda = 2 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Exercice 2: Effet de serre (Niveau 2)

On considère un modèle simplifié d'effet de serre. Soit un revêtement sombre absorbant la lumière solaire et recouvert par une vitre qui est parfaitement transparente à la lumière solaire (\approx visible, UV et IR proche) et parfaitement opaque dans l'infra-rouge moyen ($\approx 10\mu\text{m}$). Soit T_n , T_v et T_e les températures du revêtement absorbant, de la vitre et de l'air ambiant à l'extérieur. On notera E_s , l'énergie reçue par l'éclairement solaire. On ne considérera que les échanges de chaleur par rayonnement.

- Ecrire le bilan des échanges de chaleur pour le revêtement absorbant.
- Ecrire le bilan des échanges de chaleur pour la vitre.
- En déduire une relation entre T_e , T_n et E_s .
- Calculer T_n .

A.N.: $T_e = 300K$, $E_s = 1\text{ kW/m}^2$, $\sigma_{SB} = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ (constante de Stefan).

Remarque: C'est souvent la manière qui est utilisée pour expliquer le fonctionnement d'une serre de jardinerie. En fait si ce modèle s'applique bien à l'effet de serre pour le climat et les gaz à effet qui ont un rôle comparable à celui de la vitre, ce modèle ne s'applique pas vraiment pour une serre de jardinage où l'augmentation de la température est due au fait que l'on bloque la conduction thermique par convection. Cela a été mis en évidence dès 1909 par R.W. Wood (Note on the Theory of the Greenhouse. The London, Edinburgh and Dublin philosophical magazine and journal of science, 1909, vol17 Ser 6 Page 319). Cette idée reçue est encore très répandue de nos jours. Paradoxalement, pour éviter la confusion, les climatologues préfèrent utiliser le terme de "forçage radiatif" pour désigner en fait le "vrai" effet de serre.

Exercice 3: Une étrenne mortelle (Niveau 2)

Les abeilles japonaises *apis cerana japonica* se défendent contre un frelon géant *vespa mandarinia japonica* qui essaye d'envahir leur nid en formant une boule compacte autour de l'intrus et en augmentant leur température de $T_1 = 35^\circ\text{C}$ à $T_2 = 47^\circ\text{C}$. Cette température est mortelle pour le frelon¹. Supposez que pendant un temps $t = 20 \text{ min}$, 100 abeilles constituent une boule de rayon $R = 2 \text{ cm}$ dont la perte de chaleur la plus importante est due au rayonnement thermique et dont la surface a une émissivité = 0.8. La température de la boule est supposée uniforme. Pour que la

¹Voir l'article "Unusual thermal defence by a honeybee against mass attack by hornets", par Masato Ono et. al., paru dans Nature, volume 377, 1995, pages 334-336.

température reste à 47°C pendant les 20 minutes, quelle chaleur supplémentaire doivent fournir les abeilles ?

Exercices supplémentaires chapitre 10

Exercice 1: Fusée relativiste

Un observateur S est sur une plateforme de longueur $D_0 = 65\text{ m}$, dans une station spatiale. Une fusée passe à une vitesse relative $u = 0.8c$ parallèle au côté de la plateforme. L'observateur S remarque qu'à un certain instant, l'avant et l'arrière de la fusée passent simultanément en face des deux extrémités de la plateforme.

- Selon S , quel est le temps mis par la fusée pour passer en face d'un point donné de la plateforme?
- Quelle est la longueur propre L_0 de la fusée?
- Pour un observateur S' se situant dans la fusée, quelle est la longueur D de la plateforme?
- Pour S' , combien de temps cela prend-il pour que l'observateur S passe d'un bout à l'autre de la fusée?
- Selon S , les deux extrémités de la fusée s'alignent simultanément avec les deux extrémités de la plateforme. Ces deux événements sont-ils également simultanés pour S' ?

Exercice 2: Cinématique relativiste

Une barre de longueur l voyage dans la direction Ox à une vitesse v par rapport à un référentiel R . Dans son référentiel propre R' , cette barre est inclinée d'un angle θ_0 par rapport à l'axe Ox . Quelle doit être sa vitesse pour que dans R , elle ait un angle d'inclinaison $\theta = \frac{\pi}{4}$?

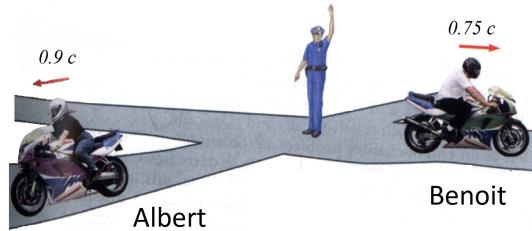
Deux motards, Albert et Benoit, roulent à des vitesses relativistes, suivant deux directions perpendiculaires.

Exercice 3: Hell's Angels (Niveau 2)

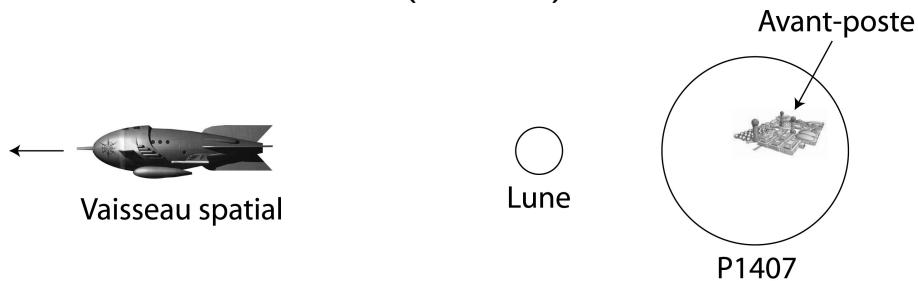
(a)

A quelle vitesse Albert s'enfuit-il de Benoit, vu par-dessus l'épaule de Benoit?

- Quelle serait cette même vitesse si vous utilisez la loi de transformation galiléenne des vitesses ?



Exercice 4: L'humanité est menacée (Niveau 3)



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 Reptiliens 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 1.10 s plus tard. Les deux événements, émission de micro-ondes et explosion de l'avant-poste terrien, sont séparés par une distance de 4.00×10^8 m dans le référentiel du vaisseau spatial. Les Reptiliens ont sûrement attaqué l'avant-poste, et le vaisseau spatial terrien se prépare à une confrontation avec eux.

- (a) La vitesse du vaisseau spatial par rapport à la planète et sa lune est de $0.98c$. Quels sont les intervalles de distance et 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 l'équipe du vaisseau voit réellement. Il s'agit donc d'observateurs dans un lieu spécifique (et non plus *dans le référentiel* stationnaire par rapport au vaisseau). Dès lors, la lumière émise par les 2 événements (bouffée et explosion) doit se 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.

Petit conseil : Comme les événements de détection ont lieu sur le vaisseau, il est bien plus facile de les considérer dans son propre référentiel, puis de transposer dans celui de la planète.

- (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 la détection de la bouffée et la détection de l'explosion ? Vu par la lune, où se trouve le vaisseau lorsque l'explosion est détectée ?
- (e) Quel serait l'intervalle entre les deux détections à bord du vaisseau, s'il passe juste à côté de la planète quand il détecte la bouffée ? Vu par 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) ?

²Remarque : on aurait pu choisir \mathcal{R}' pour le vaisseau (attention à bien définir son sens pour que $v > 0$) et \mathcal{R} pour le système planète-lune. Cependant, il y a une subtilité qui rend ce choix plus complexe : $\Delta x'$ sera alors négatif car l'explosion se passe plus loin *derrière* le vaisseau. Le résultat Δx sera lui aussi négatif pour la même raison. Pour éviter ce genre d'erreur, nous vous conseillons fortement de garder les référentiels comme indiqués sur la figure !