

DYNAMIQUE - MÉCANIQUE RELATIVISTE - olympiades - TD2

A. EXERCICES “PRÉLIMINAIRES”

I. Effet Doppler classique longitudinal

1. • On considère un émetteur d'ondes sonores fixe E (placé à l'origine du repère) et un récepteur R en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).
 - Établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F_r perçue par le récepteur ; distinguer le cas du rapprochement et de l'éloignement.
2. a) Effectuer les mêmes calculs en considérant maintenant le récepteur R fixe (à l'origine) et l'émetteur E en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).
 - b) Pourquoi n'obtient-on pas les mêmes expressions qu'à la question précédente ?

II. Effet Doppler classique et changement de référentiel

1. • On considère un récepteur d'ondes sonores fixe R (placé à l'origine du repère) et un émetteur E en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).
 - Établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F_r perçue par le récepteur ; distinguer le cas du rapprochement et de l'éloignement.
2. • Effectuer les mêmes calculs en raisonnant maintenant dans le référentiel de l'émetteur E.

III. Effet Doppler classique et effet du vent

1. • On considère un émetteur d'ondes sonores E placé à l'origine du repère et un récepteur R placé à l'abscisse $D > 0$ sur l'axe (Ox). Le son se propage dans l'air animé d'un vent de vitesse v selon l'axe (Ox).
 - Établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F_r perçue par le récepteur.
2. • Effectuer les mêmes calculs en raisonnant maintenant dans le référentiel de l'air.

IV. Effet Doppler classique oblique

1. • On considère un récepteur d'ondes sonores fixe R et un émetteur E en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox). Le récepteur est placé à une ordonnée $D > 0$ sur l'axe (Oy).
 - Établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F_r perçue par le récepteur ; exprimer cette relation en fonction de l'angle α (dépendant du temps) entre la direction “de réception” et l'axe (Ox) du mouvement de l'émetteur.

☞ indication : il faut calculer la direction “de réception” d'après à la position qui était celle de E au moment de l'émission de l'onde que R est en train de recevoir (car E s'est déplacé pendant la durée de propagation).

☞ indication : pour pouvoir raisonner avec une direction de réception, il faut supposer que cette direction ne change “pratiquement pas” pendant la durée d'une “période” (en réalité, puisque la “fréquence” perçue par le récepteur dépend de $\alpha(t)$ variable, le signal reçu n'est pas périodique au sens strict du terme).

2. a) Considérer les cas limite où l'émetteur est très éloigné (en comparaison de D).
 - b) Préciser le cas de la réception “normale” ($\alpha = \frac{\pi}{2}$).

B. EXERCICES RELATIVISTES

V. Effet Doppler relativiste longitudinal

1. • On considère un émetteur d'ondes lumineuses fixe E (placé à l'origine du repère) et un récepteur R en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).

• Établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F'_r perçue par le récepteur ; distinguer le cas du rapprochement et de l'éloignement.

☞ indication : le récepteur perçoit les intervalles de temps dans son propre référentiel, donc différemment de ce qui serait dans le référentiel de l'émetteur.

2. a) Effectuer les mêmes calculs en considérant maintenant le récepteur R fixe (à l'origine) et l'émetteur E en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).

b) Pourquoi obtient-on les mêmes expressions qu'à la question précédente (contrairement à ce qu'on observe pour la propagation du son dans l'air) ?

VI. Effet Doppler relativiste et changement de référentiel

• Puisqu'en mécanique relativiste l'effet Doppler n'est pas seulement causé par le délai de propagation des ondes, mais aussi par la différence de perception du temps selon le référentiel, il est peu utile de comparer le calcul des délais de propagation dans les différents référentiels, d'autant plus que la célérité des ondes lumineuses est invariante. Au contraire, il est intéressant d'utiliser la description relativiste directement appliquée aux photons.

1. • On considère un émetteur d'ondes lumineuses fixe E (placé à l'origine du repère) et un récepteur R en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).

• À l'aide du quadrivecteur énergie-impulsion du photon, établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F'_r perçue par le récepteur ; distinguer le cas du rapprochement et de l'éloignement.

2. • Effectuer les mêmes calculs en considérant maintenant le récepteur R fixe (à l'origine) et l'émetteur E en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox).

VII. Effet Doppler relativiste oblique

1. • On considère un récepteur d'ondes sonores fixe R et un émetteur E en mouvement à la vitesse v (algébrique) selon l'axe (Ox). Le récepteur est placé à une ordonnée $D > 0$ sur l'axe (Oy).

• À l'aide du quadrivecteur énergie-impulsion du photon, établir la relation entre la fréquence d'émission F_e et la fréquence F'_r perçue par le récepteur ; exprimer cette relation en fonction de l'angle α (dépendant du temps) entre la direction "de réception" et l'axe (Ox) du mouvement de l'émetteur.

2. a) Considérer les cas limite où l'émetteur est très éloigné (en comparaison de D).

b) Préciser le cas de la réception "normale" ($\alpha = \frac{\pi}{2}$).