

rendre par courriel au plus tard vendredi le 10 avril, 2026 à 23h59

Bonne chance, bon courage!

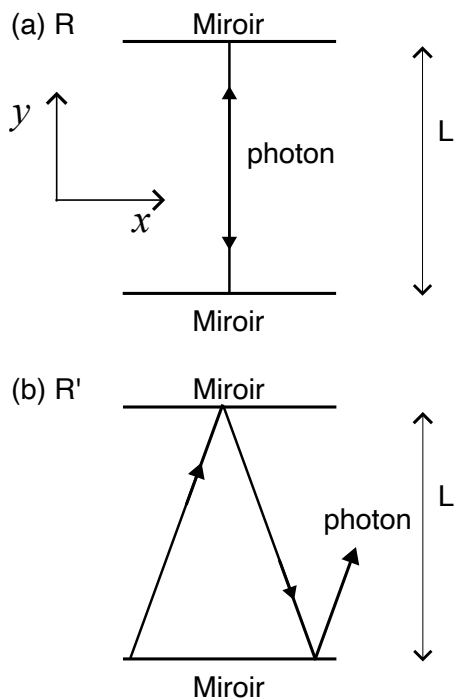


FIGURE 1 – L’horloge à photon : Le photon se réfléchit perpétuellement d’un miroir à l’autre. (a) dans son propre référentiel, (b) dans un référentiel  $R'$  en configuration standard par rapport à  $R$ .

Exercice 1 (20 pts) Imaginons une sorte d’« horloge à photon » qui mesure une durée par le nombre d’allers-retours d’un photon se réfléchissant perpétuellement entre deux miroirs parfaits, parallèles et se faisant face, séparés par une distance  $L$ .

L'horloge est au repos dans un référentiel inertiel  $R$ , muni d'un système de coordonnées cartésiennes dont l'axe des  $y$  est parallèle à la normale aux miroirs (c'est-à-dire selon la trajectoire du photon). Un miroir est situé en  $y = 0$ , l'autre en  $y = L$ . L'axe des  $x$  est alors perpendiculaire à la trajectoire du photon.

- (a) (5 pts) Calculer le temps  $\Delta t$  pour un photon de faire un aller-retour dans le référentiel  $R$ . Il s'agit d'un temps propre.
- (b) (10 pts) Considérons un référentiel  $R'$  en configuration standard par rapport à  $R$ . Calculer le temps  $\Delta t'$  (le temps pour un photon de faire un aller-retour dans le référentiel  $R'$ .) N'utilisez pas la formule de dilatation de temps. Calculer la longueur de la trajectoire en forme de zig-zag et considérons le fait que la vitesse de la lumière est toujours  $c$  constante dans les référentiels inertiels. Il s'agit d'un temps impropre.
- (c) (5 pts) Comparer vos résultats de (a) et (b) à ce que nous attendons par la formule de la dilatation de temps.

Exercice 2 (Optionnel (20 pts) ) On oriente l'horloge à photons de sorte que la trajectoire du photon soit selon l'axe des  $x$ . Le premier miroir se trouve à  $x = 0$  et le second à  $x = L$ .

- (a) (4 pts) Calculer, dans le référentiel  $R'$ , le temps mis par le photon pour aller du miroir de gauche au miroir de droite.
- (b) (4 pts) Calculer, dans le référentiel  $R'$ , le temps mis par le photon pour aller du miroir de droite au miroir de gauche.
- (c) (10 pts) Calculer la distance  $\Delta x' = L'$  entre les miroirs dans le référentiel  $R'$ . Ne pas utiliser la formule de contraction des longueurs. Déterminer la longueur  $L'$  en utilisant la vitesse de la lumière et le temps d'un aller-retour dans  $R'$  que vous avez trouvé dans l'Exercice 1. Il s'agit d'une longueur impropre.
- (d) (2 pts) Comparer votre résultat de (c) avec celui attendu à partir de la formule de contraction des longueurs.