

---

## TD 6 Relativité restreinte

---

### 1 Addition des vitesses

- (a) Un TGV (très rapide !) voyage à une vitesse constante  $V = 50000$  km/h par rapport à la surface de la Terre. À l'intérieur du train, un voyageur marche dans la même direction que le sens de la marche du train à une vitesse  $v = 5$  km/h par rapport au train. Quelle est l'erreur relative que vous commettez en utilisant la loi d'addition des vitesses de Galilée au lieu de celle d'Einstein pour déterminer la vitesse du voyageur par rapport à la surface de la Terre ?
- (b) Supposez que vous soyez capable de courir dans le couloir d'un train à la moitié de la vitesse de la lumière. Le train voyageant à une vitesse de  $3c/4$ , quelle est votre vitesse par rapport au sol ?
- (c) Alors que des malfaiteurs s'échappent à l'aide d'une voiture allant à une vitesse de  $3c/4$ , des policiers tirent en direction des malfaiteurs à bord d'une voiture n'ayant que la vitesse  $c/2$  (cf. Fig. 1). La vitesse de la balle est de  $c/3$  par rapport au pistolet. Est-ce que la balle attend sa cible (i) d'après Galilée, (ii) d'après Einstein ?



FIG. 1: © D. J. Griffiths

### 2 Décroissance des muons

Des particules élémentaires appelées muons sont créées dans la haute atmosphère lorsque des rayons cosmiques frappent des molécules d'air. Les muons ont un temps de vie moyen de  $\bar{\tau} = 2 \times 10^{-6}$  s mesuré par rapport au référentiel du muon, et voyage à une vitesse proche de celle de la lumière. Supposez pour simplifier qu'un muon est créé à 50 km au-dessus de la surface terrestre et que ce muon voyage en ligne droite sans rencontrer quoi que ce soit en direction du sol à une vitesse de  $0.99998c$ . Est-ce que le muon atteint le sol avant qu'il ne décroisse ?

### 3 Paradoxe des jumeaux

À son 21<sup>e</sup> anniversaire, une astronaute prend une navette spatiale qui s'éloigne de la Terre à une vitesse de  $12c/13$ . Après que 5 années soient passées à sa montre, elle fait demi-tour et rentre sur Terre à la même vitesse afin de rejoindre son frère jumeau qui est resté à la maison. Quelle est l'âge des deux jumeaux lorsqu'ils se rencontrent ?

### 4 Mercedes vs 2CV

Une Mercedes est, au repos, deux fois plus longue qu'une 2CV. Alors qu'une Mercedes dépasse une 2CV, un policier (fixe par rapport au sol) observe que les deux voitures ont la même taille. La 2CV a une vitesse égale à la moitié de la vitesse de la lumière. Quelle est la vitesse de la Mercedes par rapport au sol ?

## 5 Mât de bateau

Un bateau à voile est construit de telle sorte que son mât fasse un angle  $\bar{\theta}$  par rapport au pont du bateau. Un observateur se situant au port voit le bateau passer avec une vitesse  $v$  (voir Fig. 2). Quel est l'angle que fait le mât avec le pont du point de vue de l'observateur ?

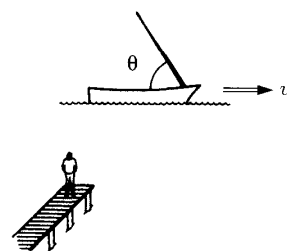


FIG. 2: © D. J. Griffiths

## 6 Addition des vitesses et transformations de Lorentz

À l'aide des transformations de Lorentz, justifiez de la formule d'addition des vitesses que vous avez utilisé dans l'Exercice 1.

## 7 Madame Irma

Madame Irma, clairvoyante, crie de douleur précisément au même moment où son frère jumeau, à 500 km de là, s'écrase le pouce avec un marteau. Albert, un scientifique sceptique, observe les deux événements (le cri de Mme Irma & l'accident de son frère) d'un avion voyageant vers la droite à la vitesse de  $12c/13$  entre le frère et Mme Irma. D'après Albert, quel événement a lieu en premier ? Vous exprimerez le résultat final en secondes.

## 8 Énergie au repos

Calculez l'énergie au repos d'un électron et d'un proton. Exprimez votre résultat en eV. On rappelle que la masse au repos d'un électron et d'un proton sont  $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$  kg et  $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$  kg, respectivement.

## 9 Billard relativiste

Une particule relativiste de masse  $m$  et d'énergie  $E$  approche d'une particule identique au repos. Les deux particules s'entrechoquent de façon élastique (c'est-à-dire que la masse est conservée) de telle sorte qu'elles sont diffusées avec un angle  $\theta$  égal (voir Fig. 3). Déterminez  $\theta$  en fonction de  $E$ ,  $m$  et  $c$ . Discutez les cas limites non-relativiste et ultra-relativiste.

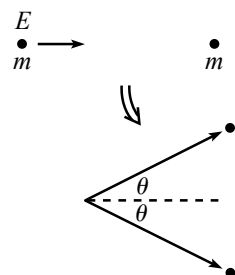


FIG. 3: © D. Morin