

Série 4

Exercice S4E1* (10 min) : Balance dans l'ascenseur

Afin d'étudier les référentiels accélérés, une personne de 100 kg se pèse dans un ascenseur. Que va indiquer la balance dans chacune des situations suivantes :

- a) L'ascenseur est à l'arrêt.
- b) L'ascenseur monte avec une accélération de $2m.s^{-2}$
- c) L'ascenseur descend avec une accélération de $2m.s^{-2}$
- d) Le câble soutenant l'ascenseur se rompt et l'ascenseur est alors en chute libre.

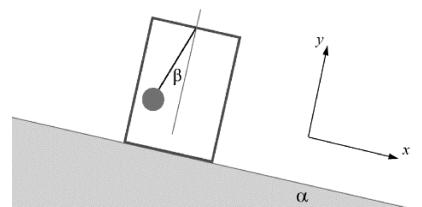


Exercice S4E2** (25 min) : Pendule sur plan incliné



Nous avons observé en cours qu'un pendule fixé sur un chariot reste perpendiculaire au plan incliné lorsque le chariot descend le long du rail sous l'effet de la pesanteur (chute libre, pas de frottement). Nous allons dans cet exercice le démontrer.

Pour cela, nous allons partir d'une situation quelconque telle que le fil du pendule fasse un angle β avec la direction perpendiculaire au plan incliné. Le calcul va nous amener à montrer que $\beta = 0$ pendant la descente, c'est-à-dire que le fil du pendule est bien perpendiculaire au plan incliné. α est l'angle du plan incliné par rapport à l'horizontale. m est la masse du pendule (on néglige la masse du fil). M est la masse totale du système chariot + pendule. \vec{g} est l'accélération de la pesanteur.



- A) Calcul de l'accélération du système {chariot+pendule}

*Difficulté des exercices : * facile ; ** moyen (niveau examen) ; *** difficile*

Le temps est indicatif et correspond au temps qui est considéré en conditions d'examen



- a) On considère le chariot comme un objet ponctuel. Indiquez sur un schéma les forces extérieures qui s'appliquent sur celui-ci lors de la descente sur le rail.
- b) Calculez les composantes de l'accélération du chariot.
- B) Calcul de l'angle β
- c) On définit le chariot comme un référentiel R' en mouvement. Est-ce que R' est un référentiel galiléen ? Justifiez.
- d) Quelle est l'accélération d'entraînement de R' ? On donnera l'expression sous forme vectorielle.
- e) Indiquez sur le schéma ci-dessus les forces externes qui s'appliquent sur la masse m .
- f) On considère que le pendule reste immobile dans R' tout au long du mouvement. En appliquant la seconde loi de Newton dans R' , démontrez que $\beta = 0$, et que par conséquent le pendule est perpendiculaire au plan incliné.

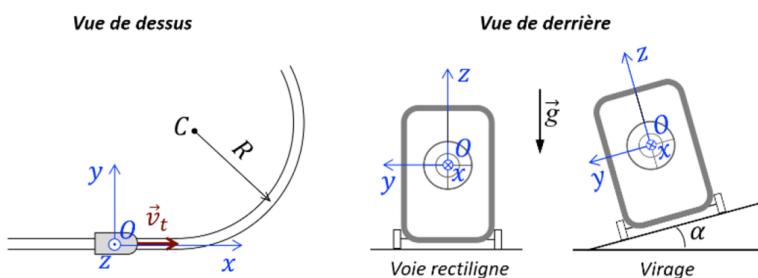
Exercice S4E3* (10 min) : Force de Coriolis



Calculez la force de Coriolis (intensité et direction) qui s'exerce sur une voiture qui tente de battre le record du monde de vitesse sur le lac salé de Bonneville aux États-Unis (Utah). La vitesse de la voiture est de 500 km/h et sa masse avec le pilote s'élève à 1200 kg. La latitude est 40° Nord. La voiture roule en direction du Nord.

Exercice S4E4** (60 min) : Tir de fléchette dans un train pendulaire - problème tiré d'un examen

Un joueur de fléchettes professionnel profite de son voyage en train à grande vitesse pour s'entraîner. La cible de masse M est fixée au plafond du wagon avec un fil inextensible de masse négligeable. La cible est toujours au repos (elle n'oscille pas). Le train se déplace à la vitesse $v_t = 100 \text{ m.s}^{-1}$ durant tout le trajet. Le train avance en ligne droite puis aborde un virage circulaire de rayon $R = 5 \text{ km}$ et de centre C . Pour le confort des passagers, dans le virage, la voie ferrée est inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale. On note $\vec{\Omega}$ la vitesse angulaire du train dans le virage.



Difficulté des exercices : * facile ; ** moyen (niveau examen) ; *** difficile

Le temps est indicatif et correspond au temps qui est considéré en conditions d'examen



Le joueur lance les fléchettes à la vitesse $v = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dans le référentiel du wagon et dans le sens de la marche du train (selon \vec{e}_x). Elles sont considérées comme des points matériels de masse m . La cible est placée à la distance $l = 3 \text{ m}$ devant le joueur et son centre est à la même hauteur que le point de lancer. Le point de lancer est l'origine du repère (O, x, y, z) lié au train. On néglige les frottements de l'air.

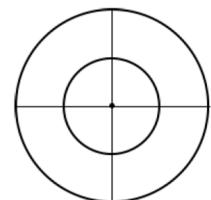
- Pour quelle raison peut-on considérer dans ce problème la Terre comme un référentiel galiléen ?
- Dans le virage, l'angle α d'inclinaison de la voie est tel que le fil de la cible est parallèle aux murs du wagon. Faites un schéma présentant toutes les forces (réelles et apparentes) appliquées à la cible.
- Exprimez α en fonction des données du problème.
- Donnez l'expression du poids apparent de la cible en fonction de M , g , et α .

Le joueur commence à s'entraîner alors que le train est sur la portion de voie rectiligne.

- Quel est le type de mouvement effectué par une fléchette ? Calculer les équations horaires $x(t), y(t), z(t)$. On note β l'angle que fait la direction du lancer avec l'horizontale.
- Exprimez β en fonction des données du problème sachant que la fléchette touche toujours le centre de la cible. *On rappelle que $2 \sin\beta \cos\beta = \sin(2\beta)$* .

Le train est maintenant dans le virage. Il effectue un tir en corrigeant l'angle β afin de prendre en compte le poids apparent. Cependant, il rate le centre de la cible car il a oublié la force de Coriolis ! L'angle β étant très petit, la trajectoire est quasiment horizontale et on prendra $\cos\beta \approx 1$ et $\sin\beta \approx 0$.

- La cible est représentée ci-contre (les lignes sont respectivement parallèles et perpendiculaires au plancher et aux murs du wagon). Reproduisez la cible sur votre feuille en y indiquant la position de l'impact de la fléchette correspondant au tir raté.
- Exprimez les composantes de $\vec{\Omega}$ dans le repère (O, x, y, z) , ainsi que celles de la force de Coriolis que subit la fléchette une fois lancée.
- Déterminez la déviation D due à Coriolis. D est définie par rapport au centre de la cible. On exprimera D en fonction de Ω , l , et v . Calculez D numériquement.



* * * * *

Exercices supplémentaires

Exercice S4ES1 (20 min) : Bowling à Vidy**

Lors d'une soirée au bowling à Vidy, un joueur s'apprête à lancer la boule pour réussir un « *strike* » (toutes les quilles tombent) afin de remonter au score. Se rappelant son cours de physique, il se demande si la force de Coriolis aura une influence sur la trajectoire de la boule. La boule pèse 5 kg, et la longueur de la piste est de 20 m. On suppose que la piste est orientée vers le Sud. Lausanne est à une latitude de $\lambda \approx 45^\circ$ Nord.

- En supposant que la vitesse de la boule reste constante, donnez l'expression de la déviation en bout de piste due à la force de Coriolis en fonction de Ω (vitesse de rotation de la Terre), λ , L (longueur de la piste) et v_0 (vitesse initiale, dirigée selon l'axe

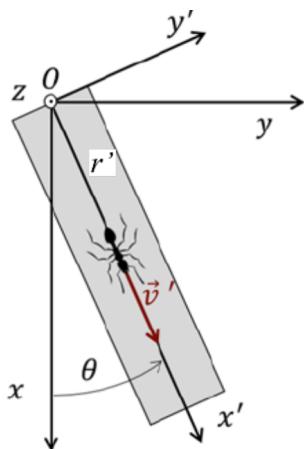
*Difficulté des exercices : * facile ; ** moyen (niveau examen) ; *** difficile*

Le temps est indicatif et correspond au temps qui est considéré en conditions d'examen

de la piste). De quel côté la boule sera-t-elle déviée ? Comment varie cette valeur en fonction de la vitesse initiale ?

- b) Donnez un ordre de grandeur de la déviation pour une vitesse de lancer de 5 m/s. La force de Coriolis peut-elle avoir une influence sur la réussite du *strike* ?

Exercice S4ES2** (20 min) : Une fourmi sur une planche



Une fourmi se déplace sur une planche, à la vitesse constante $\vec{v}' = v' \vec{e}_x'$ dans la direction x' du repère $(O, \vec{e}_x', \vec{e}_y', \vec{e}_z')$ lié à la planche. Cette même planche tourne à la vitesse angulaire ω constante autour de l'axe (Oz) du repère $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$ fixe lié à la terre . On note θ l'angle entre (Ox) et (Ox') . Voir schéma ci-contre.

- Exprimer la position de la fourmi dans le repère fixe (O, x, y, z) en fonction de θ et de sa position r' dans le repère de la planche.
- Déduisez de cette expression les composantes de la vitesse de la fourmi en fonction du temps dans le repère fixe. Montrez que cette vitesse est la somme de \vec{v}' et d'une vitesse d'entrainement , exprimée par un produit vectoriel.
- Exprimez les composantes de l'accélération de la fourmi en fonction du temps dans le repère fixe. Montrez que cette accélération est la somme de l'accélération d'entrainement (exprimée par un double produit vectoriel) et de l'accélération de Coriolis (exprimée par un produit vectoriel).