

Exercice 1 : Décollage d'Ariane 5

Le 23 mars 2012, un lanceur Ariane 5 a décollé du port spatial de l'Europe à Kourou (Guyane), emportant à son bord le véhicule de transfert automatique (ATV) qui permet de ravitailler la station spatiale internationale (ISS).

Au moment du décollage, la masse de la fusée est égale à $7,8 \times 10^2$ tonnes, dont environ 3,5 tonnes de cargaison : ergols, oxygène, air, eau potable, équipements scientifiques, vivres et vêtements pour l'équipage à bord de l'ATV.



On se propose dans cette partie d'étudier le décollage de la fusée.

Pour ce faire, on se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

À la date $t = 0$ s, le système est immobile.

À $t = 1$ s, la fusée a éjecté une masse de gaz notée m_g , à la vitesse \vec{v}_g . Sa masse est alors notée m_f et sa vitesse \vec{v}_f .

Données :

- Intensité de la pesanteur à Kourou : $g = 9,78 \text{ N.kg}^{-1}$
- Débit d'éjection des gaz au décollage : $D = 2,9 \times 10^3 \text{ kg.s}^{-1}$
- Vitesse d'éjection des gaz au décollage : $v_g = 4,0 \text{ km.s}^{-1}$

1. Modèle simplifié du décollage

Dans ce modèle simplifié, on suppose que le système {fusée + gaz} est isolé.

- 1.1. En comparant la quantité de mouvement du système considéré aux dates $t = 0$ s et $t = 1$ s, montrer que :

$$\vec{v}_f = -\frac{m_g}{m_f} \cdot \vec{v}_g$$

Quelle est la conséquence de l'éjection de ces gaz sur le mouvement de la fusée ?

- 1.2. Après avoir montré numériquement que la variation de la masse de la fusée est négligeable au bout d'une seconde après le décollage, calculer la valeur de la vitesse de la fusée à cet instant.

2. Étude plus réaliste du décollage

- 2.1. En réalité la vitesse v_f est très inférieure à celle calculée à la question 1.2.. En supposant que le système {fusée + gaz} est isolé, quelle force n'aurait-on pas dû négliger ?
- 2.2. On considère désormais le système {fusée}. Il est soumis à son poids \vec{P} et à la force de poussée \vec{F} définie par $\vec{F} = -D \cdot \vec{v}_g$ où D est la masse de gaz éjecté par seconde.
- 2.2.1. Montrer que le produit $(D \cdot v_g)$ est homogène à une force.
- 2.2.2. Vérifier par une application numérique que la fusée peut effectivement décoller.

Exercice 2 : Le rugby, sport de contact

Le rugby est un sport d'équipe qui s'est développé dans les pays anglo-saxons à la fin du XIX^{ème} siècle.

Pour simplifier l'étude, les joueurs et le ballon seront supposés ponctuels.

Document : le plaquage

Il y a « plaquage » lorsqu'un joueur porteur du ballon, sur ses pieds dans le champ de jeu, est simultanément tenu par un ou plusieurs adversaires, qu'il est mis au sol et/ou que le ballon touche le sol. Ce joueur est appelé « joueur plaqué ».

Un joueur A de masse $m_A = 115 \text{ kg}$ et animé d'une vitesse $v_A = 5,0 \text{ m.s}^{-1}$ est plaqué par un joueur B de masse $m_B = 110 \text{ kg}$ et de vitesse négligeable.

1. Dans quel référentiel les vitesses sont-elles définies ?
2. On suppose que l'ensemble des deux joueurs est un système isolé. Exprimer, en justifiant le raisonnement, la vitesse des deux joueurs liés après l'impact puis calculer sa valeur.



Exercice 3 : la propulsion ionique

« Le moteur le plus courant de l'univers du film Star Wars est un propulseur ionique. Il est amusant de constater que cette technologie a déjà été réellement utilisée. La sonde Dawn avait pour mission d'étudier Vesta et Cérés, les deux principaux corps de la ceinture d'astéroïdes. C'est grâce à ses propulseurs ioniques qu'elle a pu passer d'un astéroïde à l'autre.



Le principe du moteur ionique consiste à ioniser un gaz inerte comme le xénon (c'est-à-dire à produire des ions), à l'aide d'un fort courant électrique. Ensuite, un champ électrique intense accélère les ions produits qui, éjectés par une tuyère, propulsent le vaisseau dans la direction opposée à leur flux. Ce mode de propulsion est très économe : à puissances égales, un moteur ionique consomme dix fois moins de combustible qu'un moteur de fusée classique. Cependant, les moteurs ioniques actuels ne produisent que des accélérations assez faibles et sont tout à fait incapables d'exécuter les acrobaties que réalisent les chasseurs interstellaires de Star Wars. »

On désire illustrer le principe de la propulsion par réaction. On se place dans un référentiel R dans lequel la sonde Dawn est initialement immobile, dans une région de l'espace éloignée de tout astre.

La masse de la sonde Dawn, avant le démarrage du moteur ionique, est égale à $M_s = 1240$ kg.

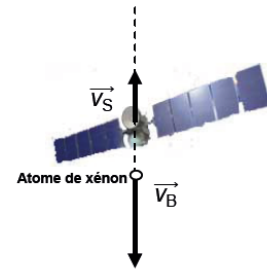
On étudie dans un premier temps l'éjection d'un seul atome de xénon, de vitesse \vec{v}_B par rapport au référentiel R. Après cette éjection, la sonde de masse $(M_s - m)$, acquiert une vitesse \vec{v}_S par rapport à R.

1.3.1. Donner l'expression de la quantité de mouvement \vec{p}_1 de l'atome éjecté ainsi que la quantité de mouvement \vec{p}_2 de la sonde de masse $(M_s - m)$ après l'éjection de l'atome de xénon. Le schéma ci-contre représente la sonde Dawn ; les vecteurs vitesse sont représentés sans souci d'échelle.

1.3.2. Dans la situation étudiée, justifier la conservation de la quantité de mouvement du système {sonde + atome de xénon} et l'égalité suivante : $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{0}$.

1.3.3. En déduire l'expression de v_s en fonction de v_B , M_s et m .

1.3.4. Calculer la valeur de v_s et commenter le résultat. On prendra $v_B = 2,1 \times 10^4$ m.s⁻¹.



En réalité, le moteur ionique éjecte en continu une grande quantité d'atomes de xénon : il consomme 3,3 mg de xénon par seconde.

1.3.5. La sonde Dawn a une réserve de 450 kg de xénon. Indiquer pendant combien d'années le moteur ionique peut fonctionner.

Données :

- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23}$ mol⁻¹ ;
- constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;
- charge électrique élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C ;
- 1 eV = $1,60 \times 10^{-19}$ J ;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ N.m².kg⁻² ;
- masse molaire atomique du xénon : $M = 131,3$ g.mol⁻¹ ;
- la valeur de la célérité c de la lumière dans le vide est supposée connue par le candidat.