Série 6 : Forces de frottement

Exercices d'introduction

A Explication schématique [* 5 min]

On tire sur un bloc de masse m avec une force de tension T (comme tiré par une corde, par exemple). On suppose qu'initialement, le bloc ne glisse pas (frottement statique). À partir d'une certaine tension appliquée, le bloc entre en mouvement et commence à glisser (frottement cinétique).

1. Dessiner sur un graphe l'évolution de la force de frottement F en fonction de la tension appliquée T. Indiquer l'expression de la force de frottement dans le cas statique et dans le cas cinétique.

On admet qu'on change maintenant de support, le nouveau support étant plus glissant pour réduire les frottements et aider au glissement. (Changement d'une surface rugueuse à une surface plus lisse par exemple).

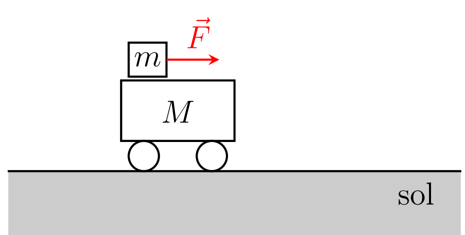
2. Dessiner sur un graphe l'évolution de la force de frottement F en fonction de la tension appliquée T dans le cas où la surface est plus glissante, et le coefficient de frottement statique n'est pas nul.

On refait la même expérience avec un nouveau bloc deux fois plus lourd que le premier, de masse $m_2 = 2m$.

3. Dessiner sur un graphe l'évolution de la force de frottement F en fonction de la tension appliquée T pour le deuxième bloc, dans le cas où la **surface est plus glissante**, et le **coefficient de frottement statique n'est pas nul**.

B À la recherche des forces [* 20 min]

On tire sur un bloc de masse m avec une force horizontale $\vec{F}$. La masse m est posée sur un chariot de masse M. On suppose que le bloc ne glisse pas sur le chariot (frottement statique) et que le frottement entre le chariot et le sol est négligeable.



1. Enumérer et dessiner toutes les forces exercées sur le bloc et celles exercées sur le chariot. Pour chacune d'elles, donner sa direction et son sens.
2. Déterminer la norme de la force de frottement entre le bloc et le chariot.

C Coefficients de frottement statique/cinétique [** 20 min]

On dépose un cube de masse M à une extrémité d'une planche horizontale de longueur L. On soulève lentement la planche par cette extrémité. On observe que lorsque l'angle d'inclinaison de la planche atteint la valeur α_0, le cube se met en mouvement. Il glisse alors jusqu'au sol en un temps T.

a) Représenter et déterminer toutes les forces exercées sur le cube, d'abord avant de glisser, puis pendant le glissement.

b) Déterminer l'expression des coefficients de frottement statique et cinétique à partir des données de cette expérience.

1 Voiture dans un virage incliné [** 30 min]

Une voiture de course roule à une vitesse horizontale de norme v constante sur un circuit circulaire de rayon R. La piste est inclinée d'un angle α par rapport l'horizontale (pour que la voiture soit penchée vers l'intérieur du virage). Le coefficient de frottement statique entre les pneus et la route vaut μ.

a) Faire un dessin dans un plan vertical perpendiculaire à la vitesse de la voiture et y représenter toutes les forces s'exerçant sur la voiture.

b) Quelle est la condition sur v pour que la voiture ne dérape pas vers l'extérieur du virage ?

Application numérique : $g = 10$ m/s^2, $R = 300$ m, $\alpha = 15^{\circ}$ et $\mu = 1$.

2 Sport d'hiver [** 30 min]

Une luge de masse totale m part au repos du point 1 qui se trouve à une hauteur h_0, et glisse jusqu'à la pente d'en face où elle finit par s'arrêter au point 2, à une hauteur h. On indique avec μ_s et μ_c les coefficients de frottement statique et cinétique entre la luge et la neige. On néglige les frottements de l'air. En utilisant les equations du mouvement, calculer en fonction des paramètres du problème :

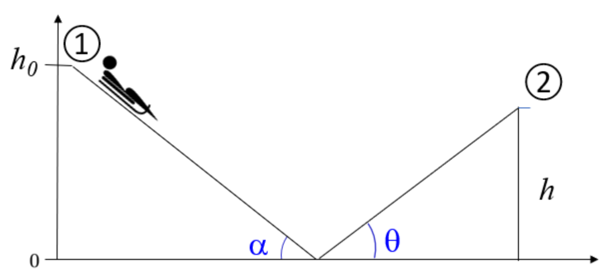
a) L'angle α minimum nécessaire pour que la luge commence à glisser en 1.

b) La vitesse maximale atteinte par la luge.

c) La hauteur h atteinte sur la pente d'en face.

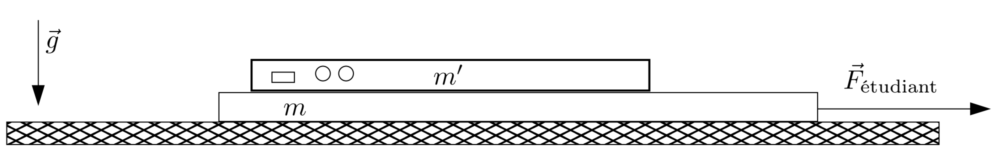
d) Vérifier que, s'il n'y a pas de frottement, on trouve la valeur attendue pour h.

Pour simplifier la notation, appeler $A = \left[1 - \frac{\mu_c}{\tan\alpha}\right]$ et $B = \left[1 + \frac{\mu_c}{\tan\theta}\right]$



3 La feuille d'exercices [** 30 min]

Vous êtes en séance d'exercices de physique générale. Vous posez votre téléphone portable de masse m' sur cette feuille d'exercices de masse m qui est posée sur la table (voir la disposition dans le schéma ci-dessous). Les coefficients de frottement entre la table et la feuille valent μ_s (statique) et μ_c (cinétique). Entre le téléphone et la feuille, ils valent μ_s' et μ_c' ; enfin, entre le téléphone et la table, μ_s'' et μ_c''.

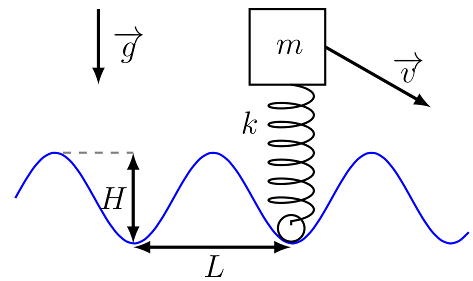


Vous décidez d'enlever la feuille en la tirant horizontalement d'un coup sec.

a) Quelle est la force minimale $\vec{F}_{\text{étudiant}}$ que vous devez appliquer pour que la feuille se mette à bouger ?

b) Quelle est la force minimale que vous devez appliquer pour que la feuille glisse sous le téléphone ?

4 Champ de bosses [*** 40 min]



On modélise le passage d'une voiture sur un champ de bosses (route en « tôle ondulée ») de la façon suivante : un point matériel de masse m, avance avec une vitesse dont la composante horizontale, v_x, est constante. La masse est reliée à un dispositif comportant un ressort de constante élastique k et de longueur au repos l_0. Au bout du ressort, une roue sans masse, de rayon négligeable suit le profil du sol.

Le dispositif qui maintient le ressort vertical n'est pas spécifié. On suppose que ce dispositif n'intervient pas dans le mouvement de la masse. Les valeurs des paramètres du problème sont telles que la roue ne décolle pas et que la voiture ne tape jamais la roue. Le profil du parcours (la tôle ondulée) a une forme sinusoïdale. La hauteur des bosses est H et leur longueur est L.

a) Choisir une position initiale et exprimer la position verticale de la roue $h(t)$ en fonction du temps (ce revient à modéliser la surface de la route).

b) En utilisant $h(t)$, déduire l'équation du mouvement de la voiture dans la direction verticale z. (Pensez à exprimer la force du ressort en fonction de $z(t)$ et $h(t)$).

c) Mettre l'équation du mouvement vertical sous la forme $\ddot{u}+\omega_0^2 u = \alpha_0 \sin(\omega t)$ à l'aide d'un changement de variable $z \to u$ (une redéfinition de l'origine du temps peut aussi être nécessaire).

d) Considérer une solution stationnaire du type $u(t) = \rho \sin(\omega t - \varphi)$, où $\varphi = 0$, et trouver l'amplitude ρ des oscillations verticales de la voiture. Que peut-on dire de la vitesse de la voiture pour que le confort soit optimal ?

Eléments de réponse

Exercice 1 : La condition pour que la voiture ne dérape pas vers l'extérieur est

$$\frac{v^2}{gR}\left(1-\mu\tan\alpha\right)\leq\mu+\tan\alpha. \tag{1}$$

Exercice 2 : La hauteur recherchée est

$$h=L\sin\theta=\frac{v_{max}^2}{2gB}=h_0\frac{A}{B}. \tag{2}$$

Exercice 3 : La condition pour que la feuille glisse sous le téléphone est

$$|F_{\text{etudiant}}|>\max\left[\mu_s,(\mu_c+\mu_s')\right](m+m')g. \tag{3}$$

Exercice 4 : L'amplitude ρ des oscillations verticales de la voiture est

$$\rho=\frac{H}{2}\frac{1}{\left(1-\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)}.$$