

Expérience sur le frottement d'une corde

Markus Meier et Barbara Roos, Olympiades de physique, broos@gmx.ch

Etes-vous à la recherche d'une bonne expérience sur les frottements et la mécanique ? Et voilà: les Olympiades de Physique vous offrent à cet effet l'expérience « frottement d'une corde ». A l'issue de celle-ci, vos élèves comprendront comment une simple corde peut permettre d'arrimer un bateau entier. Et pourquoi un câble de frein rouillé est une chose plutôt pénible.

Idéalement aux classes situées à deux ans de la maturité. Les élèves devraient connaître la fonction exponentielle. Des élèves plus jeunes peuvent par contre déjà explorer le phénomène en lui-même.

Environ 150 minutes. Mais il faudra probablement compter plus de temps pour une solution exhaustive.

1 Description

1.1 Comment l'expérience est-elle construite ?

Vos élèves analysent le frottement entre une corde et un barreau. L'expérience comporte trois exercices:

- Détermination des forces lors d'un frottement statique maximal, détermination du coefficient de frottement statique.
- Détermination des forces lors d'un frottement cinétique, détermination du coefficient de frottement cinétique.
- Détermination des forces lors d'un frottement cinétique en fonction de l'angle d'enroulement et du coefficient de frottement cinétique.

1.2 Qu'apprennent les élèves ?

Ils se confrontent à la loi d'Euler-Eytelwein et la comprennent. Ils peuvent expliquer pourquoi quelques tours de corde autour d'une bitte d'amarrage suffisent à amarrer un lourd bateau. Ils apprennent à monter, exécuter et évaluer une expérience de physique.

1.3 Matériel à prévoir

- Ficelle
- 2 dynamomètres à ressort (domaines de mesure 0 – 3 N, 0 – 10 N)
Attention : selon l'orientation des dynamomètres lors de leur utilisation (verticalement contre le haut, verticalement contre le bas, horizontalement), leur échelle doit être mise à 0 au moyen de leur vis de réglage.
- Matériel de fixation : étau de table, tige de statif, noix de serrage, tige de mesure de frottement
- Papier pour graphiques
- Seau, récipient rempli d'eau, balance

- Set de poids
- Papier absorbant

1.4 Origine et solutions

Cette expérience a été élaborée par Markus Meier et Barbara Roos à partir d'une idée provenant des Olympiades Asiatiques de Physique 2012. Lien pour la description et les solutions de l'expérience: <https://science.olympiad.ch/fr/enseignantes/>

2 Expérience: Frottement d'une corde

2.1 Indications

- Toutes vos mesures ainsi que vos calculs doivent être documentés de manière compréhensible et lisible. Cela signifie que toutes les grandeurs mesurées doivent être notées clairement dans des tableaux, toutes les valeurs utilisées dans vos calculs doivent être évidentes, tous vos calculs doivent être compréhensibles. Soyez également attentifs au nombre de chiffres significatifs.
- Toutes les grandeurs doivent être exprimées dans les unités SI correctes.
- Les graphes doivent être complets et correctement labellisés.
- En plus du papier quadrillé, du papier millimétré est à votre disposition pour les diagrammes et les graphiques.
- Pour des angles d'enroulement supérieurs à 2π , il est important que la ficelle ne s'enroule pas plusieurs fois sur elle-même et que les « spires » ne se touchent pas.
- La tige utilisée pour les mesures de frottement comporte une zone sur laquelle la ficelle va être enroulée ; ne touchez pas cette zone avec les doigts (vous la graisseriez, ce qui modifierait ainsi le coefficient de frottement). Les tiges auront été nettoyées au préalable. Pour les mêmes raisons, la ficelle ne doit être manipulée qu'à ses extrémités.
- Placez la ficelle si possible toujours au même endroit de la tige.

2.2 Description de l'expérience

Loi d'Euler-Eytelwein

Une corde S est enroulée autour d'une barre B avec un angle d'enroulement φ (cf Fig. 1). Afin de maintenir la masse M à l'équilibre, une force de tension F doit être appliquée à l'autre extrémité de la corde. Grâce à la force de frottement entre la corde S et la barre B , la force de tension F nécessaire est plus petite que le poids généré par la masse M et est donnée par la formule suivante :

$$F = F_M \cdot e^{-\mu\varphi}$$

avec	F_M	Poids
	F	Force de tension
	φ	Angle d'enroulement (en radians)
	μ	Coefficient de frottement
	e	Constante d'Euler

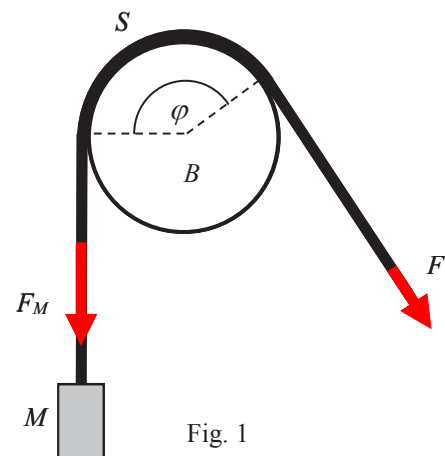


Fig. 1

2.3 Problèmes

Question 1: Détermination des forces lors d'un frottement statique maximal, détermination du coefficient de frottement statique

On souhaite déterminer les forces entre la ficelle et la tige lors d'un frottement statique maximal, et ce pour plusieurs masses. L'angle d'enroulement $\varphi = \pi$ doit rester constant. On augmente lentement la force de tension F jusqu'à ce que la ficelle commence à bouger sur la tige. La masse est fixée à une extrémité de la ficelle, et la force de tension est générée comme suit : on attache un seau d'eau à l'autre extrémité de la ficelle ; on verse ensuite de l'eau dans le seau jusqu'à ce que la ficelle commence à bouger et que la masse commence à se déplacer vers le haut. La masse du seau d'eau détermine la force de tension lors du frottement statique. **Attention:** Pour éviter que le seau ne touche la masse, il faut qu'au début de la mesure, le seau se trouve plus bas que la masse. Il ne faut en aucun cas mouiller la ficelle !

- Effectuez pour un angle d'enroulement constant $\varphi = \pi$ la mesure de la force de tension pour 8 masses différentes dans l'intervalle 0 g à 160 g. Pour chaque masse, il est nécessaire d'effectuer la mesure au moins trois fois et d'en calculer la moyenne.
- A partir des mesures de (a), déterminez pour chacune des 8 mesures le coefficient de frottement statique μ_{stat} entre la ficelle et la tige. A partir de ces valeurs, calculez la moyenne pour μ_{stat} .

Question 2: Détermination des forces lors d'un frottement cinétique, détermination du coefficient de frottement cinétique

Prenez un nouveau morceau de ficelle. L'angle d'enroulement $\varphi = \pi$ doit à nouveau rester constant. Lors d'un frottement cinétique, les forces peuvent être mesurées par deux méthodes au moyen des dynamomètres. Dans la première méthode, on tire une masse vers le haut, dans la deuxième, on la laisse descendre. Dans la première méthode (cf. (a)), on augmente progressivement la force de tension au moyen du dynamomètre, jusqu'à ce que la ficelle commence à bouger sur la tige. A partir de ce moment, on continue à tirer lentement avec une vitesse constante tout en lisant la force sur le dynamomètre. Avec la deuxième méthode (cf. (b)), la force de tension causée par le dynamomètre est diminuée jusqu'à ce que la ficelle commence à bouger sur la tige. A ce moment-là, on continue à bouger à vitesse constante tout en lisant la force sur le dynamomètre.

- Pour un angle d'enroulement constant $\varphi = \pi$, effectuez la mesure de la force de tension (en tirant la masse vers le haut) pour 8 masses différentes dans l'intervalle 0 à 160 g. Pour chaque masse, on veillera à effectuer au moins trois mesures et à en calculer la moyenne.
- Pour un angle d'enroulement constant $\varphi = \pi$, effectuez la mesure de la force de tension (en laissant descendre la masse) pour 8 masses différentes dans l'intervalle 0 à 160 g (utilisez les mêmes masses que dans la partie (a)). Pour chaque masse, on veillera à effectuer au moins trois mesures et à en calculer la moyenne.
- Représentez graphiquement toutes les forces (leurs moyennes) des parties (a) et (b) en fonction de la masse. On représentera ces valeurs dans le même graphe comme deux ensembles de mesures.

Etablissez un tableau de valeurs dans lequel pour chaque poids, vous y indiquerez le rapport entre la force de tension et le poids, aussi bien pour la méthode où l'on tire la masse que celle où on la laisse descendre. Quel est le lien entre ces deux rapports ? Calculez pour chaque poids le coefficient de frottement cinétique μ_{cin} entre la ficelle et la tige en utilisant à chaque fois les deux valeurs mesurées (en tirant la masse, resp. en la laissant descendre). A partir de ces valeurs, calculez la moyenne pour μ_{cin} .

Question 3: Détermination des forces lors d'un frottement cinétique en fonction de l'angle d'enroulement, détermination du coefficient de frottement cinétique

Dans cette mesure, on cherche à étudier la dépendance des forces (seulement avec la méthode où l'on tire la masse) à l'angle d'enroulement. On détermine les forces au moyen des dynamomètres. Pour toute cette partie 3, la masse doit rester constante à 55 g.

- (a) Déterminez les forces de tension pour au moins 6 angles d'enroulement dans l'intervalle $\varphi = 0$ à $\varphi = 8\pi$. Pour chaque angle, on répétera chaque mesure au moins cinq fois.
- (b) Etablissez pour chaque angle d'enroulement la moyenne ainsi que l'écart-type pour les forces de tension mesurées.
- (c) Au moyen d'un graphe adéquat, vérifiez la validité de la loi d'Euler-Eytelwein. Expliquez le choix de votre méthode !
- (d) Pour chaque grandeur en question, dessinez les barres d'erreur dans votre diagramme.
- (e) Déterminez le coefficient de frottement cinétique μ_{cin} entre la ficelle et la tige à partir du graphe établi en (c). Estimez de manière appropriée l'erreur sur le coefficient de frottement cinétique. Documentez vos calculs.
- (f) Comparez μ_{cin} de la question 3 (e) avec μ_{cin} de la question 2 (d) et calculez l'écart relatif de la valeur en 2 (d) par rapport à celle de 3 (e).