

Laboratoire 5

Travail, énergie et quantité de mouvement

A. Contexte théorique

1. Le travail d'une force variable

Si une force constante F est appliquée sur une distance Δx , le travail est défini comme

$$W = F \Delta x \cos \theta$$

Toutefois, dans le cas d'une force variable (qui n'est donc pas la même pour toute valeur de x), on devra calculer l'aire sous la courbe de la force en fonction de la position. Mathématiquement, cela revient à calculer l'intégrale

$$W = \int F_x(x) dx$$

où F_x est la composante x de la force. Dans le cas d'un mouvement en une seule dimension, cette composante est égale à la force elle-même.

2. Conservation de l'énergie

L'énergie mécanique d'un système soumis à des forces conservatives est toujours conservée. L'énergie mécanique est la somme des énergies cinétiques, potentielle gravitationnelle et potentielle élastique d'un système :

$$K_i + U_{g_i} + U_{res_i} = K_f + U_{g_f} + U_{res_f}$$

où $K = \frac{1}{2}mv^2$, $U_g = mgh$, et $U_{res} = \frac{1}{2}kx^2$. Rappelons que dans le calcul de l'énergie potentielle, la hauteur h est mesurée à partir d'un point de référence arbitraire mais judicieux où $U_g = 0$.

Dès qu'une force non conservative intervient, cette équation n'est plus vraie. On doit alors ajouter un terme de travail non-conservatif, W_{nc} du côté gauche de l'équation précédente. Toute force autre que la force gravitationnelle ou la force d'un ressort a de grandes chances d'être non-conservative.

3. Conservation de la quantité de mouvement

La quantité de mouvement d'un objet est un vecteur donné par le produit de sa masse et de son vecteur vitesse :

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Dans toutes les collisions, la quantité de mouvement totale est toujours conservée. Par-contre, l'énergie cinétique est uniquement conservée dans le cas des collisions élastiques

Contexte expérimental

On dispose d'un arc à poulie munie d'une manivelle pour étirer la corde. La corde est reliée à un capteur de force qui permet de mesurer la tension T dans celle-ci.

On tire une flèche de masse m . Une fois celle-ci décochée, elle passe devant un capteur photosensible qui mesure son temps de passage. La flèche va ensuite se loger dans une cible de masse M .

La cible consiste en un pendule dont la corde fait une longueur L . Un curseur permet de mesurer le recul maximal de la cible, dénoté d . À partir de d et de L , la hauteur H est donnée par

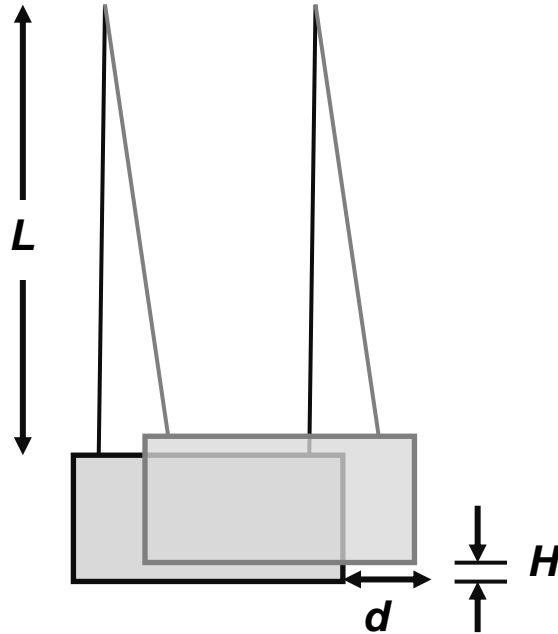
$$H = L \left[1 - \cos \left(\arcsin \left(\frac{d}{L} \right) \right) \right]$$

Lors de la collision, seule la quantité de mouvement est conservée. Immédiatement après la collision, le bloc n'est plus soumis qu'à la force gravitationnelle, qui est conservative. L'énergie mécanique est donc conservée dans le système APRÈS la collision. Connaissant la hauteur H à laquelle monte le bloc, on peut calculer sa vitesse initiale par le principe de conservation de l'énergie :

$$(m + M)gH = \frac{1}{2}(M + m)v^2$$
$$v = \sqrt{2gH}$$

La quantité de mouvement de la cible est donc donnée par

$$p = (M + m)$$



B. Manipulations

1. Relier le capteur de force à la corde de l'arc
2. Assurez-vous que l'arc est en position détendue. Placez-y la flèche
3. Tournez la manivelle de manière à entendre 15 « clics ». Cela étire la corde de l'arc de 0,024m. Notez la valeur de la force lue par le capteur, et reportez cette mesure dans le tableau.
4. Refaites 19 autres fois l'étape 3 (distance maximale de 0,48 cm)
5. Coupez la corde
6. Notez le temps de passage de la flèche devant la cellule, ainsi que la distance de recul maximale de la cible
7. Retirez la flèche de la cible, et rebouchez le trou avec de la pâte à modeler.

C. Analyse des données

Présentez vos résultats dans des tableaux (et graphique pour la force)

Faites un exemple de calcul pour chaque type de valeur calculée

a) Calcul du travail fait par l'arc

Tracez un graphique de la force en fonction de la position. Ensuite, calculez l'aire sous la courbe de manière analytique avec l'équation suivante :

$$W = \sum_{i=1}^N F_i(x_i - x_{i-1})$$

Attendez une minute avant de vous arracher les cheveux, c'est pas mal plus simple qu'il n'y paraît. D'abord, les i représentent chacune de vos mesures de force, au nombre total de $N = 24$. Donc, F_i représente la force mesurée à la mesure i .

Ensuite, $x_i - x_{i-1}$ représente la variation de distance entre deux mesures successives. Facile, celle-ci est toujours la même, soit 0,024m.

N'oubliez pas les incertitudes ! Celle sur $x_i - x_{i-1}$ est $\pm 3\%$, alors que celle sur la mesure de la force est de $\pm 2N$. Pour les traiter correctement, vous devez d'abord trouver l'incertitude de chaque terme $F_i(x_i - x_{i-1})$, puis tous les additionner.

Je vous suggère de décomposer le calcul étape par étape et de faire cela en Excel.

Vous devez me mettre par écrit un exemple de calcul complet, c'est-à-dire le calcul d'un terme complet de la sommation. Montrez-moi également comme vous calculez l'incertitude pour la sommation.

b) Conservation de l'énergie et de la quantité de mouvement

- i. Comparez le travail fait par l'arc avec l'énergie cinétique de la flèche. Pouvez-vous vérifier l'équation $W = \Delta K$? Sinon, énumérez des causes d'erreur et évaluez leur impact de manière qualitative.

- ii. Comparez l'énergie cinétique de la flèche avec l'énergie potentielle maximale de la cible. L'énergie est-elle conservée ? Quel est le pourcentage d'énergie perdue dans la collision ? Si cette énergie n'est plus sous forme d'énergie mécanique, sous quelle forme se trouve-t-elle ? De quel type de collision s'agit-il ?

- iii. Comparez la quantité de mouvement de la flèche avec la quantité de mouvement de la cible immédiatement après la collision. Y a-t-il conservation ? Sinon, expliquez pourquoi.

Votre rapport devra comporter, dans l'ordre, les sections suivantes :

- Mesures présentées dans des tableaux
- Résultats numériques qui découlent de ces mesures
- Analyse des données : réponses aux questions de la partie b)
- Un exemple de calcul pour chaque type de résultat (pas besoin de me faire les 20 points du calcul du travail total !!!) avec le traitement correct des incertitudes
- Conclusion

Barème de correction du laboratoire

Mesures	15 points								
Présentées efficacement		0	1	2	3				
Pertinence des mesures prises		0	1	2	3	4			
Quantité suffisante		0	1	2	3	4	5		
Qualité des mesures		0	1	2	3				
Résultats numériques	15 points								
Présentation efficace		0	1	2					
Quantité suffisante		0	1	2	3				
Justesse		0	2	4	6	8	10		
Analyse des données	30 points								
Travail et variation de K		0	2	4	6	8	10		
Conservation de l'énergie		0	2	4	6	8	10		
Conservation quantité de mouvement		0	2	4	6	8	10		
Calculs	30 points								
Suffisants		0	1	2	3				
Justesse de calculs		0	2	4	6	8	10		
Traitement des incertitudes		0	3	6	9	12	15		
Clarté de la démarche et propreté		0	1	2					
Conclusion	10 points								
Rappel des buts		0	1	2	3				
Rappel des résultats importants		0	1	2	3	4			
Ouverture		0	1	2	3				

TOTAL 100 points

***Joindre cette feuille à la fin de votre rapport
Rédiger à double interligne SVP***