Cahier de laboratoire

Mécanique

"All he thinks about is that stupid ball."

Luc Tremblay

CAHIER DE LABORATOIRE

MÉCANIQUE

27e édition Hiver 2024

Luc Tremblay, Ph. D. O.E.E.

Professeur de physique, de mathématiques, d'histoire des sciences et d'astronomie au Collège Mérici

©LES PRESSES DU COLLÈGE MÉRICI

Québec
New York London
Berlin Sankt-Petersburg
Tokyo Sydney
Wabush Sagard

AVERTISSEMENT

L'utilisation de ce cahier présente certains risques. Lire ces quelques conseils pourrait vous sauver la vie.

DANGER : Ce cahier courbe l'espace-temps autour de lui, faites attention de ne pas approcher trop près de la limite de Schwarzschild de ce cahier.

ATTENTION : La masse de ce cahier contient l'équivalent en énergie de 6 millions de tonnes de TNT.

AVIS : Il y a une infime, mais non nulle, probabilité que, par effet tunnel, ce cahier disparaisse spontanément de sa location actuelle et réapparaisse à n'importe quel autre endroit de l'univers, incluant la poubelle. L'auteur n'est pas responsable des inconvénients que cela peut occasionner.

AVIS : Selon certaines théories de la grande unification, il est possible que les protons constituant ce cahier se désintègrent au cours des prochaines 400 milliards d'années. Advenant cette situation, aucun remboursement ne sera possible.

CAHIER FAIT DE MATIÈRE À 100 % : Ne pas mettre en contact avec de l'antimatière sous quelque forme qu'elle soit, une explosion catastrophique pourrait en résulter. L'auteur ne pourra être tenu responsable des dommages et blessures occasionnés par cette situation.

AVIS À L'ACHETEUR DE CE CAHIER : L'univers entier, incluant ce cahier, pourrait un jour se contracter en un point infinitésimalement petit. Advenant cette situation et l'apparition d'un nouvel univers, la réapparition de ce cahier sous sa forme actuelle ne peut être garantie.

ATTENTION : Ce cahier est composé de cordes à 11 dimensions. Advenant la réémergence des 7 dimensions présentement inaccessibles, l'auteur ne peut garantir que l'acheteur pourra continuer à utiliser ce cahier aux fins prévues.

AVIS : Quelques théories quantiques suggèrent que, lorsque vous n'observez pas ce cahier directement, il peut cesser d'exister, ou peut exister sous une forme vague et indéterminée.

MANIPULER AVEC SOIN : ce produit attire tous les objets de l'univers. Ceci pourrait occasionner certaines perturbations catastrophiques.

Laboratoire 1

La cinématique

But

Vérifier l'accélération d'un objet glissant sur un plan incliné est constante et si la grandeur de l'accélération expérimentale est égale à l'accélération prévue par la théorie.

Théorie

En cinématique, la position d'un objet qui effectue un mouvement rectiligne uniformément accéléré est donnée par

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \qquad \textbf{(1)}$$

Si on pose que la position initiale est $x = 0$. Dans le cas d'un objet glissant le long d'une pente inclinée d'un angle α et ne subissant aucune friction, l'accélération est donnée par

$$a = g \sin \alpha \qquad \textbf{(2)}$$

Méthode utilisée

Pour vérifier cette loi, nous allons simplement mesurer la position d'un objet en fonction du temps sur un plan incliné. Pour effectuer les mesures des positions, nous allons utiliser une table à coussin d'air. Sur cette table, on fait glisser des rondelles de métal. On réduit de beaucoup la friction en utilisant un compresseur pour pousser de l'air sous les rondelles. Ainsi, la rondelle flotte sur un « coussin d'air » et il n'y a pratiquement plus de friction. Pour marquer la position de la rondelle, nous allons utiliser un générateur d'étincelles. Ce générateur produit une étincelle à intervalle régulier (50 ms dans cette expérience) et il est relié à la rondelle si bien que l'étincelle se produit sous la rondelle. Ainsi, les étincelles laisseront une marque sur un papier que nous aurons préalablement placé sur la table à coussin d'air.

Nous allons incliner la table et laisser glisser la rondelle sous l'effet de la gravité. De cette façon, la rondelle accélèrera de façon uniforme. Avec les marques des étincelles, on pourra obtenir la position de la rondelle à différents instants.

Il ne sera pas tellement utile de tracer le graphique de la position en fonction du temps pour ce mouvement uniformément accéléré puisqu'on obtiendrait une parabole. Comme il est difficile de vérifier si une courbe est bel et bien une parabole, il serait difficile de vérifier l'équation (1) de cette façon.

Pour vérifier l'équation, nous allons utiliser la vitesse moyenne qui est simplement

$$\overline{v} = \frac{x}{t}$$

Puisque

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

la formule de la vitesse moyenne est

$$\overline{v} = \frac{v_0 t + \frac{1}{2} a t^2}{t}$$

$$\overline{v} = v_0 + \frac{1}{2} a t$$

Cette équation est l'équation d'une droite. La pente de cette droite doit être

$$\text{pente} = \frac{1}{2} a$$

et l'ordonnée à l'origine est

$$\text{ordonnée à l'origine} = v_0$$

Donc, en traçant le graphique de la vitesse moyenne $\overline{v}$ et fonction de t, nous pourrons donc vérifier si on obtient bien une droite. Si on obtient une droite, cela signifie que l'accélération est constante. Nous pourrons aussi obtenir l'accélération à partir de la pente du graphique en multipliant la pente par 2 (puisque la pente est $a/2$).

On va alors vérifier si l'accélération expérimentale (obtenue avec la pente du graphique) est en accord avec l'accélération théorique (obtenue avec $g \sin \alpha$)

Appareils

- Table à coussin d'air

- Compresseur

- Générateur d'étincelles
  Incertitude sur la période : ± 0,5 %
  Incertitude sur la position des étincelles : ± 1 mm
  (N'inclut pas l'incertitude sur la règle)

- Rondelle

- Papier

- Règle

- Niveau électronique
  Incertitude sur l'angle : 0,05°

Manipulations

- Sélectionnez la période de 50 ms sur le générateur d'étincelle.

- Inclinez maintenant la table en plaçant un objet sous la patte de derrière.

- Pour que les étincelles se produisent, il faut que les deux rondelles soient sur la table. Vous pouvez bloquer le mouvement de la rondelle inutilisée en la plaçant sur un coin du papier que vous aurez pris soin de plier en bas du plan incliné. Ainsi, la rondelle sera surélevée et ne pourra plus glisser.

- Placez la rondelle au haut de la table et lâchez-la. Il ne faut pas que vous donniez de mouvement de côté à la rondelle. Vous pouvez empêcher ce mouvement indésirable en attachant la rondelle au bord de la table. Pour laisser partir la rondelle, vous n'aurez qu'à lâcher la corde. De cette façon, il n'y aura aucun mouvement de côté. Enregistrez le mouvement.

- Mesurez l'angle d'inclinaison de la table.

Angle d'inclinaison max = _____ ± _____
Angle d'inclinaison min = _____ ± _____

Mesures

Dans le rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- Les valeurs maximum et minimum de l'angle d'inclinaison.
- La position x en fonction du temps t (avec leurs incertitudes) sous forme de tableau

Calculs

- Calculez les valeurs de $\bar{v}$ (avec leurs incertitudes) en utilisant l'équation

$$\bar{v} = \frac{x}{t}$$

  Présentez les résultats sous forme de tableau.

- Faites un graphique de $\bar{v}$ en fonction du temps.
- Calculez la valeur de l'accélération à partir de la pente du graphique à l'aide de la formule

$$\text{pente} = \frac{1}{2}a$$

- Calculez l'angle d'inclinaison à partir des valeurs maximum et minimum.
- Calculez la valeur de l'accélération théorique avec $a = g \sin \alpha$. (α est l'angle d'inclinaison de la table.) Utilisez $g = 9{,}81$ m/s² ± 0,01 m/s².

Analyse des résultats

- L'accélération est-elle constante ? (Le graphique de $\bar{v}$ en fonction du temps vous a-t-il donné une droite comme prévu ?)
- Vos deux valeurs de l'accélération sont-elles en accord ?

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.

LABORATOIRE 2

LE PROJECTILE

BUT

Vérifier les équations donnant la durée du mouvement, la portée et la hauteur maximale d'un projectile.

THÉORIE

Lorsqu'on lance un projectile et qu'il retombe à la même hauteur qu'il a été lancé, la durée du mouvement est

$$t = \frac{2v_0 \sin\theta}{a}$$

La portée du projectile est

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{a}$$

La hauteur maximale atteinte par le projectile est

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2\theta}{2a}$$

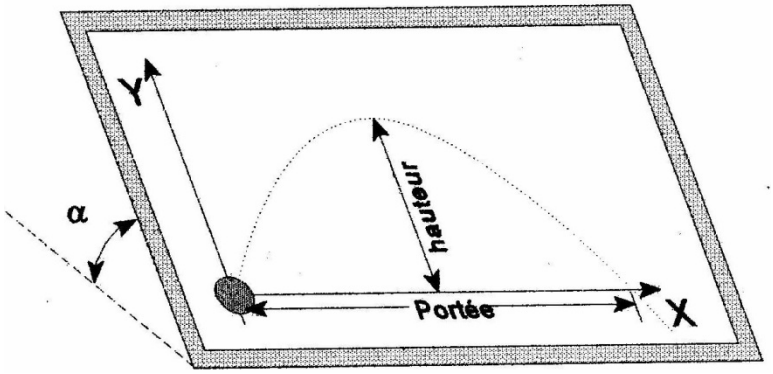
L'accélération est bien évidemment g pour un projectile lancé dans les airs. Toutefois, si le mouvement se produit sur une table inclinée, l'accélération a est

$$a = g \sin\alpha$$

où α est l'angle d'inclinaison de la table avec le sol (figure 1) et g est l'accélération gravitationnelle qui vaut, à Québec, 9,81 ± 0,01 m/s².

Méthode utilisée

Il nous faut marquer la position d'un objet qui effectue un mouvement à deux dimensions. Pour ce faire, nous allons utiliser une table à coussin d'air inclinée. En donnant une légère poussée au départ, nous aurons un mouvement de projectile comme sur la figure. En démarrant le générateur peu avant le lancement, nous aurons alors les marques de la position à intervalles réguliers. Nous pourrons alors mesurer la durée du mouvement, la portée et la hauteur maximale atteinte par le projectile. Connaissant le temps entre les étincelles, nous pourrons également calculer la vitesse initiale.



Appareils

- Table à coussin d'air
- Compresseur
- Générateur d'étincelles
  Incertitude sur la période : ± 0,5 %
  Incertitude sur la position des étincelles : ± 1 mm
  (N'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Rondelle
- Papier
- Règle
- Niveau électronique
  Incertitude sur l'angle : 0,05°

Manipulations

- Placez un objet d'environ 5 cm de haut sous la patte de derrière.

- Mesurez l'inclinaison de la table.

Angle d'inclinaison (α) = _____ ± _____

- Sélectionnez la période de 10 ms sur le générateur d'étincelles.

- Pour obtenir le meilleur mouvement de projectile, la rondelle doit être lancée de telle façon qu'elle vienne passer le plus près possible du haut de la feuille d'enregistrement et arriver à l'autre coin de la table (voir la figure 1). Pratiquez-vous donc quelques fois avant de faire l'enregistrement.

- Laissez glisser votre rondelle du haut de la table sans la pousser tout en enregistrant le mouvement. Vous obtiendrez alors votre axe des y. Pour vous assurer qu'elle descend exactement dans la direction de l'accélération, vous pouvez attacher votre rondelle et lâcher la corde pour qu'il n'y ait aucun mouvement de côté.

Mesures

- Choisissez un point de départ pour votre mouvement du projectile. Ce point n'est pas nécessairement au début de la trajectoire, il peut être n'importe où sur la partie montante de la trajectoire pourvu que cette position corresponde à un endroit où la rondelle n'était pas poussée.

- En partant de ce point zéro, tracez un axe horizontal et un axe vertical. Votre axe vertical doit être absolument parallèle au tracé de la rondelle en chute obtenu à la troisième étape des manipulations.

- Comptez le nombre de points marqués entre le point de départ et le point d'arrivée de votre projectile. Ne comptez pas le point de départ.

Nombre de points (N) = _____ ± _____

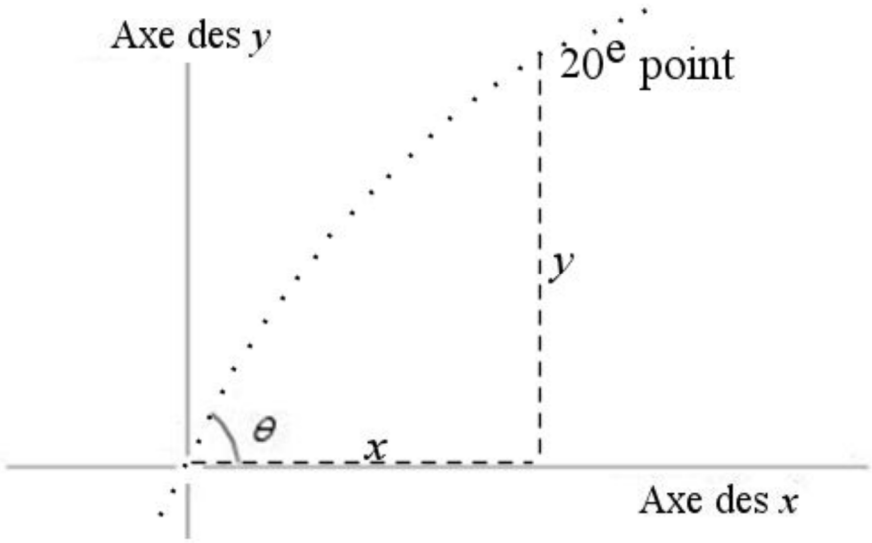
- Mesurez la portée (R) de votre projectile.

Portée (R) = _____ ± _____

- Mesurez la hauteur maximale (h) de votre projectile.

Hauteur (h) = _____ ± _____

- Pour déterminer la vitesse initiale de la rondelle, vous devez mesurer la position x d'un point un peu après le départ. Par exemple, on a pris le 20e point ici.



x = _____ ± _____

Temps au point utilisé (t_v) = _____ ± _____

- Mesurez l'angle de départ (angle θ sur la figure) de votre projectile.

Angle de départ (θ) = _____ ± _____

Dans le rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- L'angle d'inclinaison α
- Le nombre de points N
- La portée R
- La hauteur maximale h
- La position en x du point utilisé pour trouver la vitesse initiale
- Temps au point utilisé pour trouver la vitesse initiale
- L'angle de départ θ

Calculs

- Calculer le temps de vol du projectile avec

$$t = N \cdot 0,01s$$

- Calculer l'accélération du projectile à l'aide de

$$a = g \sin \alpha$$

où g = 9,81 ± 0,01 m/s² et α est l'angle d'inclinaison de la table (à ne pas confondre avec l'angle de départ du projectile θ).

- Puisque la position en x du 20e point est $x = v_{0x} t_v$, on peut calculer la vitesse initiale en x du projectile avec

$$v_{0x} = \frac{x}{t_v}$$

- Calculez la vitesse initiale du projectile avec

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta$$

- Calculez la durée du mouvement théorique avec

$$t = \frac{2 v_0 \sin \theta}{a}$$

- Calculez la portée théorique à l'aide de

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{a}$$

- Calculez la hauteur théorique à l'aide de

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2a}$$

Analyse des résultats

- Comparez votre durée du mouvement théorique et la durée mesurée.
- Comparez votre portée théorique et la portée mesurée.
- Comparez votre hauteur théorique et la hauteur mesurée.

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.

LABORATOIRE 3

LES LOIS DE NEWTON ET LA FORCE GRAVITATIONNELLE

BUT

Vérifier que la valeur de l'accélération d'un système soumis à l'action de la force gravitationnelle est donnée par les lois de Newton et par $F = mg$.

THÉORIE

Lorsqu'une force nette non nulle s'applique sur un objet, il y a une accélération dans le sens de la force. Selon la deuxième loi de Newton, l'accélération est donnée par

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \textbf{(1)}$$

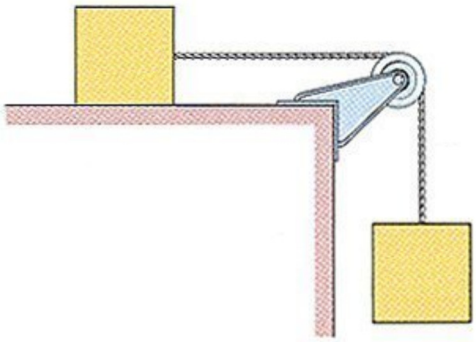
Pour pouvoir utiliser cette loi, il nous faut connaitre également la force. Une des forces bien connues est la force de gravitation. À la surface de la Terre, la force gravitationnelle exercée sur une masse est donnée par

$$F = mg \text{ vers le bas} \qquad \textbf{(2)}$$

où g est une constante qui vaut 9,81 m/s² ± 0,01 m/s² à Québec.

Méthode utilisée

Nous allons tout simplement attacher une masse suspendue à une rondelle sur une surface horizontale. La force gravitationnelle qui s'exerce sur la masse suspendue fera alors accélérer les deux masses. Nous utiliserons la table à coussin d'air pour éliminer la friction et pour marquer la position de la rondelle. Avec ces marques de position, nous pourrons calculer l'accélération et vérifier si elle est en accord avec celle donnée par les formules 1 et 2.



Appareils

- Table à coussin d'air
- Compresseur
- Générateur d'étincelles
  Incertitude sur la période : ± 0,5 %
  Incertitude sur la position des étincelles : ± 1 mm
  (N'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Rondelle
- Papier
- Masse de 100 g (objet suspendu)
- Corde
- Balance
  Incertitude : ± 0,1 g
- Règle

Manipulations

- Mesurez les masses de l'objet suspendu et de la rondelle

Masse de l'objet suspendu $m =$ _____ ± _____

Masse de la rondelle $M =$ _____ ± _____

- Mettre la table au niveau.
- Reliez à l'aide d'une corde votre rondelle et une masse de 100 g.
- Sélectionnez la période de 50 ms sur le générateur d'étincelle.
- Enregistrez le mouvement de la rondelle ainsi accélérée.

Mesures

Dans le rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- Les masses m et M.
- La position de la rondelle en fonction du temps (sous forme de tableau).

Calculs

On va trouver l'accélération à l'aide d'un graphique. Comme il s'agit théoriquement d'un mouvement uniformément accéléré, la méthode à utiliser est identique à celle du laboratoire 1. Ainsi, il faut suivre les étapes suivantes :

- Calculer les valeurs de $\overline{v}$ (avec leurs incertitudes) en utilisant

$$\overline{v} = \frac{x}{t}$$

  Présentez vos résultats sous forme de tableau.

- Faites un graphique de $\bar{v}$ en fonction du temps.

- Calculez la valeur de l'accélération à partir de la pente du graphique à l'aide de la formule

$$\text{pente} = \frac{1}{2}a$$

  Ceci est votre accélération expérimentale.

- Calculez l'accélération théorique de la rondelle à partir des lois de Newton. N'oubliez pas que g = 9,81 m/s² ± 0,01 m/s².

Analyse des résultats

- Comparez votre accélération expérimentale et votre accélération théorique.

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.

LABORATOIRE 4

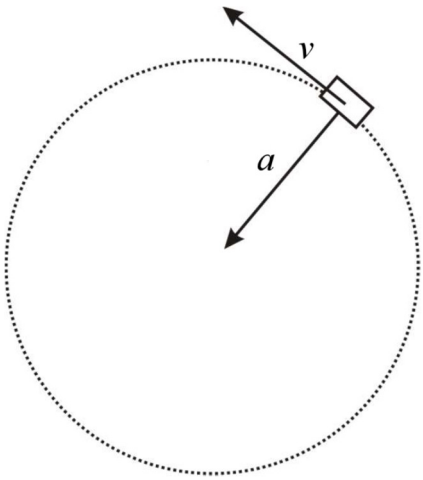
LA FORCE CENTRIPÈTE

BUT

Vérifier la formule de la force centripète.

$$F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2}$$

THÉORIE



Quand un objet fait un mouvement circulaire uniforme, l'accélération centripète de l'objet est donnée par

$$a = \frac{v^2}{r} \qquad \textbf{(1)}$$

où v est la vitesse de l'objet et r est le rayon de la trajectoire.

Si l'objet a une masse m, on en déduit que la force centripète est

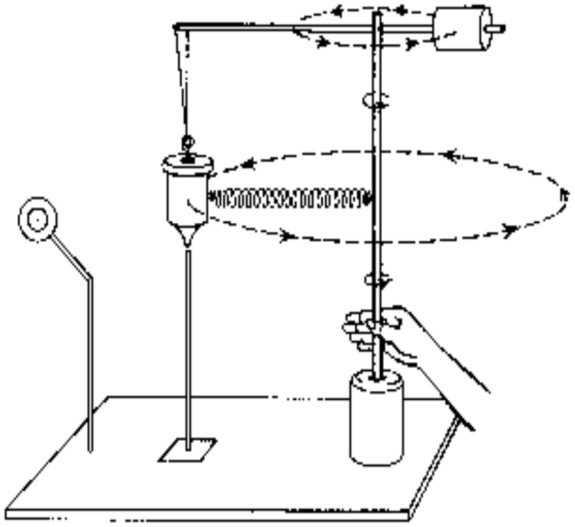
$$F = \frac{mv^2}{r} \qquad \textbf{(2)}$$

dirigée vers le centre. Puisque $v = 2\pi r / T$ (où T est la période du mouvement) on obtient

$$F = \frac{4\pi^2 mr}{T^2} \qquad \textbf{(3)}$$

Méthode utilisée

Nous allons utiliser le montage montré sur la figure.



La masse M est accrochée à un fil par une tige horizontale que l'on peut faire pivoter autour d'un axe vertical. On peut ajuster la distance de la masse à l'axe de rotation (r). Un ressort relie l'axe à la masse. C'est lui qui exercera la force centripète. Sur la base du montage, une tige verticale ajustable est installée. On placera cette tige à la même distance de l'axe que la masse.

On mesure la masse M de l'objet qui tourne et le rayon r de la trajectoire.

Ensuite, on fait tourner l'objet à une vitesse constante. On mesure alors la période de révolution de sorte qu'on pourra calculer la force centripète avec l'équation 3.

Cette force centripète est exercée par le ressort qui va de la tige verticale à la masse M. Comme nous connaissons bien les ressorts, il est facile de déterminer la force exercée par le ressort. Cette force devrait être la même que celle obtenue théoriquement.

Appareils

- Montage pour force centripète
- Chronomètre
- Règle
- Masse et support
- Balance
  Incertitude ± 0,1 g

Manipulations

- Déterminez la valeur de la masse M de l'objet que l'on fera tourner.

M = _____ ± _____

- Accrochez la masse M à la tige horizontale, mais pas au ressort.

- Réglez la position de la tige verticale ajustable de façon à la placer exactement au-dessous de l'extrémité pointue de la masse.

- Mesurez la distance de la masse jusqu'à l'axe. Attention le rayon r est la distance entre le centre des tiges.

r = _____ ± _____

- Accrochez le ressort à la masse M. Faites passer le fil fixé à la masse M par-dessus la poulie et accrochez la ficelle à un support. Ajoutez progressivement des masses sur ce support jusqu'à ce que l'extrémité pointue de la masse M revienne au-dessus de la tige verticale ajustable. Mesurez la masse suspendue (m)

m max = _____ ± _____
min = _____ ± _____

Nous savons alors la force exercée par le ressort quand la masse M est directement au-dessus de la tige ajustable doit être égale au poids de la masse m. Ainsi, $F_{\text{ressort}} = mg$.

Attention : Il est essentiel que le ressort ainsi que le fil qui va de M à la poulie soient horizontaux. Si ce n'est pas le cas, on ne pourra pas affirmer que mg est égal à la force centripète puisque la force de gravitation exercée sur M entrera en jeu.

- Retirez les masses ajoutées ainsi que le support. En agissant sur l'axe vertical, faites tourner l'ensemble à la main. Réglez la vitesse de rotation pour que l'extrémité pointue de la masse M revienne au-dessus de la tige verticale ajustable. Conservez une vitesse de rotation constante et mesurez, à l'aide d'un chronomètre, la durée de 20 rotations complètes.

t = _____ ± _____

Mesures

Dans le rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- La masse tournante (M)
- Le rayon de la trajectoire circulaire (r)
- Les valeurs minimale et maximale de la masse suspendue (m)
- La masse suspendue (m), trouvée à partir des valeurs minimale et maximale
- Le temps nécessaire pour faire 20 rotations (t)

Calculs

- Calculez la période du mouvement (temps pour une seule rotation).

- Calculez la force exercée par le ressort avec la formule de la force centripète (équation 3).

- Calculez la force exercée par le ressort avec la formule de la force de gravitation ($F = mg$). N'oubliez pas que g = 9,81 m/s² ± 0,01 m/s².

Analyse des résultats

- Comparez les deux valeurs de la force.

LABORATOIRE 5

LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

BUT

Vérifier le principe de conservation de l'énergie mécanique.

THÉORIE

Pour un système isolé où interviennent seulement des forces conservatrices, l'énergie mécanique totale est conservée.

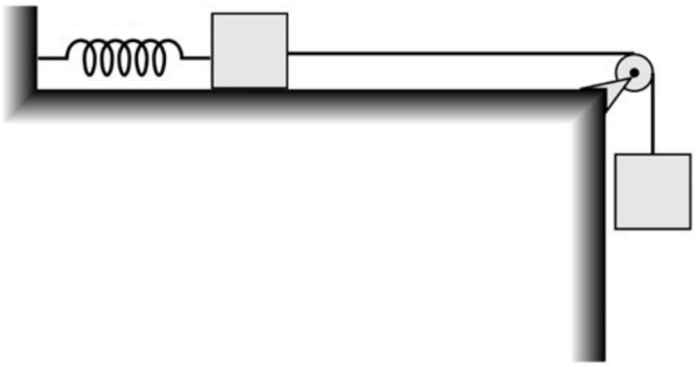
Dans notre expérience, on utilisera un système composé de deux masses et d'un ressort. Ainsi, la loi de conservation de l'énergie mécanique devient

$$E = \frac{1}{2}M_1v^2 + M_1gy_1 + \frac{1}{2}M_2v^2 + M_2gy_2 + \frac{1}{2}kx^2 = \text{constante}$$

où g est une constante qui vaut 9,81 m/s² ± 0,01 m/s² à Québec.

MÉTHODE UTILISÉE

Pour vérifier la conservation de l'énergie mécanique, nous allons utiliser le montage illustré sur cette figure.



Lorsque la masse suspendue descend, son énergie gravitationnelle devient de l'énergie cinétique du système et de l'énergie du ressort. Toutefois, pour que l'énergie mécanique soit conservée, il faut éliminer toute friction, ce qu'on peut faire en utilisant la table à coussin d'air.

De plus, en utilisant le générateur d'étincelles, nous pourrons mesurer la distance de chute de la masse suspendue, la vitesse du système et l'étirement du ressort. Avec ces données, on pourra calculer les énergies initiale et finale pour vérifier s'il y a conservation de l'énergie mécanique.

Appareils

- Table à coussin d'air
- Compresseur
- Générateur d'étincelles
  Incertitude sur la période : ± 0,5 %
  Incertitude sur la position des étincelles : ± 1 mm
  (N'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Rondelle
- Une masse de 200 g (masse suspendue) et une masse de 100 g
- Ressort
- Corde
- Papier

- Balance
  Incertitude ± 0,1 g.

- Chronomètre

- Règle

Manipulations

- Mettre la table au niveau.

Mesure de la constante du ressort

Nous devons premièrement mesurer la constante de ressort. Pour y arriver, nous allons utiliser le fait que la période d'oscillation d'un système masse-ressort dépend de la constante du ressort selon

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

où m est la masse de l'objet attaché au ressort.

- Suspendez une masse de 100 g au ressort.

m = _____ ± _____

- Donnez un mouvement d'oscillation de 5 cm environ à la masse.

- À l'aide du chronomètre, mesurez la période de 50 oscillations

Temps = _____ ± _____

La conservation de l'énergie

- Mesurez la masse de la rondelle.

M_1 = _____ ± _____

- Mesurez la masse de la masse suspendue

$$M_2 = \underline{\qquad\qquad \pm \qquad\qquad}$$

- Attachez votre masse à la rondelle.

- Attachez le ressort sur la rondelle et à la table.

- Sélectionnez la période de 10 ms sur le générateur d'étincelle.

- Enregistrez le mouvement lorsque la masse est lâchée. Assurez-vous que le ressort n'est pas étiré lorsque la rondelle est lâchée de sorte que nous pourrons considérer qu'il n'y a pas d'énergie dans le ressort au départ.

Mesures

Pour la position finale, on va prendre l'avant-dernier point marqué sur la feuille. On fait ce choix puisqu'il faut déterminer la vitesse de la rondelle à la position finale et que pour y arriver, nous devons prendre la distance entre le point précédent le point final et le point suivant le point final. Cela nous donnera la vitesse moyenne dans l'intervalle entre ces deux points situés de part et d'autre du point final, ce qui correspond environ à la vitesse au point final.

Pour les calculs de l'énergie gravitationnelle, il faut connaitre la hauteur initiale de la masse suspendue. Si on pose que $y = 0$ est à la position finale de la masse suspendue, la hauteur initiale correspond tout simplement à la distance entre la position initiale et finale de la rondelle. Cette distance (L) donne également l'étirement du ressort.

Pour le calcul de la vitesse finale, il faut connaitre la distance (d) et les temps (t) entre un point précédant le point final et un point suivant le point final.

Dans le rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- La masse rattachée au ressort (m)
- Le temps nécessaire pour faire 50 oscillations
- La masse de la rondelle (M_1)
- La masse suspendue (M_2)
- La distance entre le point de départ et le point final (L)
- La distance entre le point précédant le point final et le point suivant le point final (d).
- Le temps entre le point précédant le point final et le point suivant le point final (t).

Calculs

Énergie initiale

L'énergie mécanique est

$$E = \frac{1}{2}M_1v^2 + M_1gy_1 + \frac{1}{2}M_2v^2 + M_2gy_2 + \frac{1}{2}kx^2$$

Comme la rondelle et la masse suspendue ne se déplacent pas au départ, les énergies cinétiques sont nulles. Comme on va mettre le y_1 = 0 de la rondelle (M_1) à sa position initiale, l'énergie gravitationnelle de la rondelle est nulle. Comme le ressort n'est pas étiré au départ, l'énergie du ressort est nulle. Il ne reste donc que l'énergie potentielle de la masse suspendue.

$$E = M_2gy_2$$

Comme nous avons posé que y_2 = 0 se situe à la position finale de la masse suspendue, sa hauteur initiale correspond à la distance de chute, donc à la distance entre le point de départ et le point final de la trajectoire (L). On a alors

$$E = M_2gL$$

- Calculez la valeur de l'énergie initiale en utilisant g = 9,81 m/s² ± 0,01 m/s².

Énergie finale

L'énergie est

$$E' = \frac{1}{2}M_1v'^2 + M_1gy_1' + \frac{1}{2}M_2v'^2 + M_2gy_2' + \frac{1}{2}kx'^2$$

Comme la rondelle est restée à la même hauteur, elle est toujours à y_1 = 0 et son énergie gravitationnelle est donc nulle. Comme la masse suspendue est maintenant à sa position finale et qu'on a stipulé que le y_2 = 0 de la masse suspendue est à la position finale, l'énergie potentielle de la masse suspendue est maintenant nulle. Il reste donc

$$E' = \frac{1}{2}M_1v'^2 + \frac{1}{2}M_2v'^2 + \frac{1}{2}kx'^2$$

On voit que pour calculer l'énergie finale, on doit avoir la vitesse du système et la

constante du ressort.

Vitesse des masses

- Calculez la vitesse finale du système en utilisant

$$v' = \frac{d}{t}$$

Constante du ressort

- Calculez la période d'une oscillation.

- Calculez la constante du ressort à l'aide de la formule

$$k = \frac{4\pi^2 m}{T^2}$$

On peut maintenant calculer l'énergie finale. Puisque le ressort n'était pas étiré au départ, l'étirement du ressort correspond au déplacement de la rondelle, donc à la distance entre le premier point et le point final (L). On a donc

$$E' = \frac{1}{2}M_1 v'^2 + \frac{1}{2}M_2 v'^2 + \frac{1}{2}kL^2$$

- Calculez la valeur de l'énergie finale.

Analyse des résultats

- Comparez les valeurs de l'énergie mécanique initiale et de l'énergie mécanique finale.

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.

LABORATOIRE 6

LES COLLISIONS

BUT

Vérifier la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie mécanique lors d'une collision élastique entre deux objets.

THÉORIE

La quantité de mouvement d'un objet est une quantité vectorielle définie par le produit de la masse et de la vélocité d'un objet

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad \textbf{(1)}$$

Lors d'une collision entre deux objets, les forces exercées sur les deux objets sont des forces internes. Dans ce cas, la quantité de mouvement totale des deux objets est conservée. Il s'agit du principe de conservation de la quantité de mouvement. On peut alors écrire

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 \qquad \textbf{(2)}$$

Si on sépare cette équation en composantes, on obtient

$$p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x} \qquad \textbf{(3)}$$

et

$$p_{1y} + p_{2y} = p'_{1y} + p'_{2y} \qquad \textbf{(4)}$$

L'énergie cinétique d'un objet de masse m et de vitesse v est une quantité scalaire définie par

$$\textbf{(5)}\ E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Si la collision est parfaitement élastique, alors l'énergie cinétique totale est la même avant et après la collision. On peut alors écrire

$$E_{k1} + E_{k2} = E'_{k1} + E'_{k2} \qquad \textbf{(6)}$$

Méthode utilisée

Pour vérifier la conservation de la quantité de mouvement (équations 3 et 4) et de l'énergie cinétique (équation 6) lors d'une collision élastique, il semble évident qu'il faut provoquer une collision. Nous allons donc faire une collision entre deux rondelles sur une table à coussin d'air. En utilisant la table à coussin d'air, nous éliminerons la friction qui normalement rendrait les principes de conservation difficiles à vérifier.

Avec les points marquant la position des rondelles, on pourra trouver la vitesse et la direction du mouvement de chaque rondelle. Cela nous permettra de mesurer la quantité de mouvement totale et l'énergie cinétique totale avant et après la collision.

Appareils

- Table à coussin d'air.
- Compresseur.
- Générateur d'étincelles
  Incertitude sur la période : ± 0,5 %
  Incertitude sur la position des étincelles : ± 1 mm
  (N'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Deux rondelles.
- Papier
- Balance
  Incertitude ± 0,1 g
- Règle
- Rapporteur d'angle

Manipulations

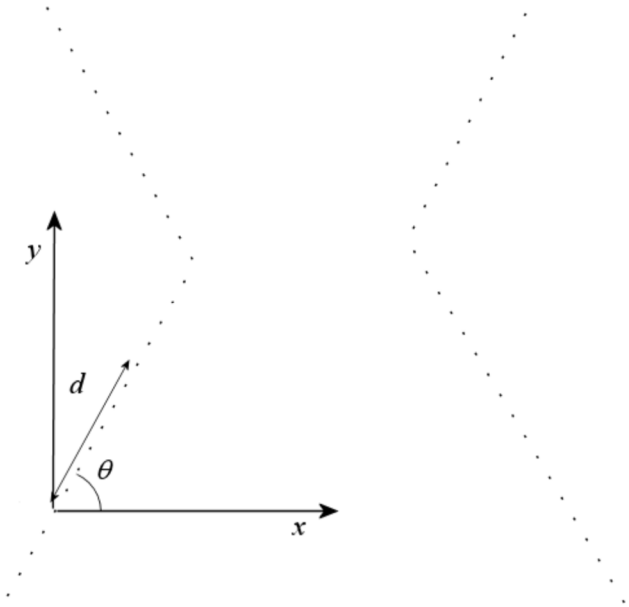
- Mesurez la masse des rondelles. Identifiez bien vos rondelles pour ne pas les mélanger et ainsi inverser les valeurs de masses

m_1 = _____ ± _____ m_2 = _____ ± _____

- Mettez la table parfaitement au niveau.
- Sélectionnez la période de 50 ms sur le générateur d'étincelle.
- Réalisez l'enregistrement d'une collision élastique en lançant les deux rondelles pour qu'elles entrent en collision approximativement au centre de la table.

Mesures

La figure montre ce que sont les valeurs de d et θ pour la rondelle 1 avant la collision.



- Choisissez-vous des axes x et y pour séparer les quantités de mouvement selon leurs composantes. Le choix de ces axes se fait selon vos gouts, mais une fois que le choix est fait, il doit rester le même pour tous les calculs.

- Mesurer la distance (d) et le temps (t) entre les points près de la collision pour chacune des rondelles avant et après la collision. Cette distance permettra de connaitre la vitesse des rondelles avant et après la collision.

- Mesurer l'angle (θ) que fait la direction de la vitesse avec l'axe des x.

Dans le rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- La masse de la rondelle 1 (m_1)
- La masse de la rondelle 2 (m_2)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 1 avant la collision (d_1)
- Le temps entre deux points marqués pour la rondelle 1 avant la collision (t_1)
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 1 avant la collision (θ_1)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 2 avant la collision (d_2)
- Le temps entre deux points marqués pour la rondelle 2 avant la collision (t_2)
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 2 avant la collision (θ_2)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 1 après la collision (d_1')
- Le temps entre deux points marqués pour la rondelle 1 après la collision (t_1')
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 1 après la collision (θ_1')
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 2 après la collision (d_2')
- Le temps entre deux points marqués pour la rondelle 2 après la collision (t_2')
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 2 après la collision (θ_2')

Calculs

- Calculez la vitesse des deux rondelles avant la collision avec

$$v = \frac{d}{t}$$

- Calculez les quantités de mouvement en x et en y des deux rondelles avant la collision à l'aide des formules

$$p_x = mv\cos\theta$$
$$p_y = mv\sin\theta$$

- Calculez les quantités de mouvement totales en x et en y avant la collision avec

$$p_{xtot} = p_{1x} + p_{2x}$$
$$p_{ytot} = p_{1y} + p_{2y}$$

- Calculez l'énergie cinétique totale des rondelles avant la collision avec

$$E_{ktot} = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

- Refaites ces mesures et calculs pour les mouvements après la collision tout en gardant le même système d'axes.

Analyse des résultats

- Comparez les quantités de mouvement en x avant et après la collision.
- Comparez les quantités de mouvement en y avant et après la collision
- Comparez les énergies cinétiques totales avant et après la collision.

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.