

CAHIER DE LABORATOIRE

MÉCANIQUE



LUC TREMBLAY

CAHIER DE LABORATOIRE

MÉCANIQUE

28^e édition

Hiver 2025

LUC TREMBLAP, Ph. D.

Membre de l'ordre de l'excellence en enseignement du Québec

*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 son emplacement actuel 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 des forces, 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 si 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

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

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

$$a = g \sin \alpha$$

Méthode utilisée

Pour vérifier cette loi, on va simplement mesurer la position d'un objet en fonction du temps sur un plan incliné. Pour effectuer les mesures des positions, on va 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 (toutes les 0,05 s 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.

On va incliner la table et laisser glisser la rondelle sous l'effet de la gravité. De cette façon,

1 - LA cinématique

la rondelle accélèrera de façon uniforme avec une accélération de $g \sin \alpha$. Avec les marques des étincelles, on pourra obtenir la position de la rondelle toute les 0,05 secondes.

Il ne serait 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 trouver les paramètres d'une parabole avec leurs incertitudes à partir d'un graphique, on ne pourra pas obtenir l'accélération à partir de ce graphique.

Pour trouver l'accélération, nous allons utiliser la vitesse moyenne qui est simplement

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

Puisque

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

la formule de la vitesse moyenne est

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

Cette équation est l'équation d'une droite si l'accélération est constante. Donc, si on trace le graphique de la vitesse moyenne en du temps, on devrait obtenir une droite (si l'accélération est constante). Selon l'équation, la pente de cette droite devrait être

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

et l'ordonnée à l'origine devrait être

$$\text{ordonnée à l'origine} = v_0$$

On va commencer par calculer la vitesse moyenne $\bar{v}$ à différents moments. En traçant ensuite le graphique de la vitesse moyenne en fonction du temps, on pourra 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 $a/2$).

Dans l'analyse, on va finalement vérifier si l'accélération expérimentale (obtenue avec la pente du graphique) est constante (elle est constante si on a une droite) et si elle 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 : $\pm 0,5 \%$
 - Incertitude sur la position des étincelles : $\pm 1 \text{ mm}$
(n'inclut pas l'incertitude sur la règle)
- Rondelle
- Papier
- Règle
- Niveau électronique
 - Incertitude sur l'angle : $0,05^\circ$

Manipulations

- Sélectionnez la période de 20 Hz sur le générateur d'étincelle. Le temps entre les points sera donc de 0,05 s.
- Placer une feuille sur la table, par-dessus le papier noir.
- Inclinez la table en plaçant un objet sous une patte de la table.
- Pour que les étincelles se produisent, il faut que les deux rondelles soient sur la table, au-dessus du papier noir. 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 coincée sur le pli de la feuille et ne pourra plus glisser.
- Démarrez le compresseur.
- Placez la rondelle au haut de la table et lâchez-la tout en démarrant le générateur d'étincelles un peu avant de lâcher la rondelle. Il ne faut pas que vous donniez de

1 - LA cinématique

mouvement de côté à la rondelle en la lâchant. Vous pouvez empêcher ce mouvement indésirable en retenant la rondelle avec une corde. Pour laisser partir la rondelle, vous n'aurez qu'à lâcher la corde. De cette façon, il n'y aura aucun mouvement de côté.

- Arrêtez le compresseur et prenez votre feuille.
- Mesurez l'angle d'inclinaison de la table.

Angle d'inclinaison max = _____ $\pm$ _____

Angle d'inclinaison min = _____ $\pm$ _____

MESURES

- Mesurer la position de la rondelle à toutes les 0,05 s en prenant un des premiers points comme point de départ. On ne mesure pas la distance entre les points, on mesure toujours à distance à partir du point de départ.

Temps	Position
s	cm
$\pm$	$\pm$
0,05	
0,10	
0,15	
0,20	
0,25	
0,30	
0,35	
0,40	
0,50	
0,55	
0,60	
0,65	
0,70	
0,75	

1 - LA cinématique

Dans la section « mesures » du rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- Les valeurs maximum et minimum de l'angle d'inclinaison α .
- L'angle d'inclinaison α , trouvée à partir des valeurs minimale et maximale
- 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 de t et $\bar{v}$.

- 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 la valeur de l'accélération théorique avec $a = g \sin \alpha$. (α est l'angle d'inclinaison de la table.) Utilisez $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$.

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.

1 - LA cinématique

LABORATOIRE 2

LE PROJECTILE

But

Vérifier les équations donnant 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

$$a = g \sin \alpha$$

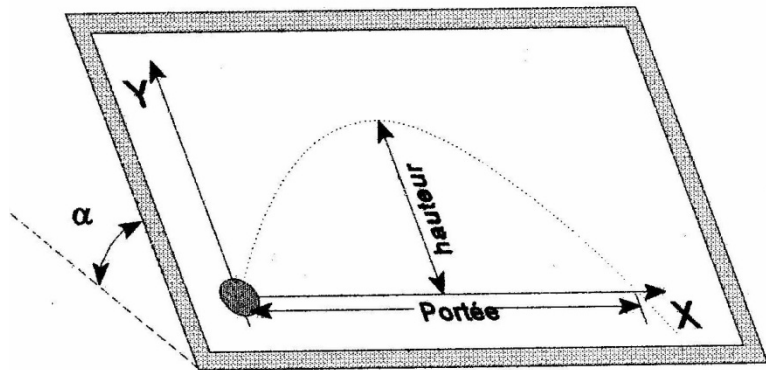
où α est l'angle d'inclinaison de la table avec le sol.

2 - Le Projectile

Méthode Utilisée

Pour étudier le mouvement d'un projectile, il nous faut marquer la position d'un objet qui effectue un mouvement de projectile. Pour ce faire, nous allons utiliser une table à coussin d'air inclinée.

On va commencer par mesurer l'angle d'inclinaison de la table avec un niveau électronique (α sur la figure). Cet angle nous permettra de calculer l'accélération sur la table avec $g \sin \alpha$.



En donnant une légère poussée à la rondelle au départ, on aura un mouvement de projectile comme sur la figure. En démarrant le générateur un peu avant le lancement, nous aurons alors les marques de la position à intervalles réguliers (toutes les 0,02 s ici).

On va aussi laisser simplement tomber une rondelle qui a une vitesse initiale nulle à partir du haut de la table à coussin d'air. La direction du mouvement de cette rondelle est la direction de l'accélération (on aura besoin de cette direction).

On pourra alors prendre la feuille avec les points marqués pour étudier le mouvement.

Sur la feuille, on va tracer une ligne perpendiculaire à la direction de l'accélération. Cette ligne, qui sera comme le « sol » pour notre projectile, doit être assez haute sur le papier pour qu'on soit certain qu'on ne poussait plus la rondelle quand elle a passé à l'endroit où la ligne a été tracée.

Sur la feuille, on va mesurer, avec une règle, la portée et la hauteur maximale atteinte par le projectile. On va également mesurer l'angle de départ du projectile (angle entre la direction de déplacement de la rondelle et la ligne qui joue le rôle de « sol ») avec un rapporteur d'angle.

À partir du nombre de points entre le point de départ et le retour à la ligne qui fait office de « sol », on va calculer le temps de vol du projectile. À partir de la durée du vol, de l'angle de départ et de l'accélération, on va calculer la vitesse initiale du projectile. Pour ce faire, on va isoler v_0 dans la formule suivante

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

2 - Le Projectile

pour obtenir

$$v_0 = \frac{at}{2 \sin \theta}$$

Une fois qu'on aura la vitesse initiale, on pourra calculer la portée et la hauteur maximale avec les formules suivantes.

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

Dans l'analyse, on va finalement vérifier si les valeurs de portée et de hauteur maximale mesurées sur la feuille sont en accord avec les valeurs obtenues avec les formules.

Appareils

- Table à coussin d'air
- Compresseur
- Générateur d'étincelles
 - Incertitude sur la période : $\pm 0,5 \%$
 - Incertitude sur la position des étincelles : $\pm 1 \text{ mm}$
(n'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Rondelle
- Papier
- Règle
- Niveau électronique
 - Incertitude sur l'angle : $0,05^\circ$

Manipulations

- Sélectionnez la période de 50 Hz sur le générateur d'étincelle. Le temps entre les points sera donc de 0,02 s.
- Placer une feuille sur la table, par-dessus le papier noir.

2 - Le Projectile

- Inclinez la table en plaçant un objet sous une patte de la table.
- Pour que les étincelles se produisent, il faut que les deux rondelles soient sur la table, au-dessus du papier noir. 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 coincée sur le pli de la feuille et ne pourra plus glisser.
- Démarrez le compresseur.
- 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. De plus, la poussée doit être très brève. Pratiquez-vous donc quelques fois avant de faire l'enregistrement.
- Une fois que vous êtes prêt, faites faire un mouvement de projectile à la rondelle en démarrant le générateur d'étincelles un peu avant de pousser la rondelle.
- Laissez ensuite glisser votre rondelle à partir du haut de la table tout en démarrant le générateur d'étincelle juste avant de relâcher la rondelle. Pour vous assurer que la rondelle n'ait aucune vitesse initiale et qu'elle descende exactement dans la direction de l'accélération, vous pouvez retenir la rondelle avec une corde et lâcher la corde.
- Arrêtez le compresseur et prenez votre feuille.
- Mesurez l'angle d'inclinaison de la table.

Angle d'inclinaison (α) max = _____ $\pm$

Angle d'inclinaison (α) min = _____ $\pm$

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 plus poussée.

2 - Le Projectile

- En partant de ce point, tracez un axe horizontal (le « sol »). Cet axe doit être exactement perpendiculaire à la trajectoire de la rondelle qui a descendu en ligne droite.
- Comptez le nombre de points marqués entre le point de départ et le point d'arrivée de votre projectile (sans compter le point de départ).

Nombre de points (N) = _____ $\pm$ _____

- Mesurez la portée de votre projectile.

Portée (R) = _____ $\pm$ _____

- Mesurez la hauteur maximale de votre projectile.

Hauteur (h) = _____ $\pm$ _____

- Mesurez l'angle de départ de votre projectile.

Angle de départ (θ) = _____ $\pm$ _____

Dans la section « mesures » du rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- Les valeurs maximum et minimum de l'angle d'inclinaison α .
- L'angle d'inclinaison α , trouvée à partir des valeurs minimale et maximale
- Le nombre de points N
- La portée R
- La hauteur maximale h
- L'angle de départ θ

Calculs

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

$$a = g \sin \alpha$$

où $g = 9,81 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$ et α est l'angle d'inclinaison de la table (à ne pas confondre avec l'angle de départ du projectile θ).

2 - Le Projectile

- Calculer le temps de vol du projectile avec

$$t = N \cdot t_p$$

où t_p est le temps entre les points (qui est normalement de 0,02 s).

- Calculez la vitesse initiale à partir de

$$v_0 = \frac{at}{2 \sin \theta}$$

- 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

- Vos deux valeurs de la portée sont-elles en accord ?
- Vos deux valeurs de la hauteur maximale sont-elles en accord ?

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

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

Pour pouvoir utiliser cette loi, il nous faut connaître 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

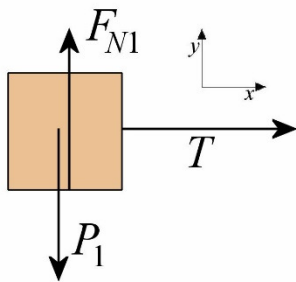
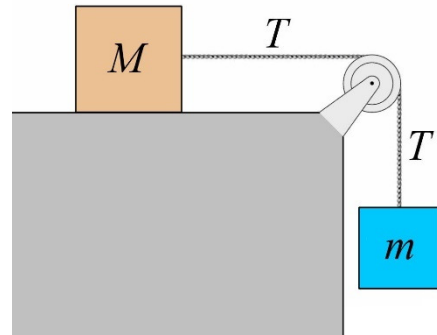
$$F = mg \text{ vers le bas}$$

où g est une constante qui vaut $9,81 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$ à Québec.

3- LES LOIS DE NEWTON ET LA FORCE GRAVITATIONNELLE

MÉTHODE UTILISÉE

Pour vérifier ces équations, nous allons tout simplement attacher une masse suspendue (m) à une rondelle (M) sur la table à coussin d'air avec une corde qui passe par une poulie. 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.



Dans ce système, la somme des forces en x sur la rondelle est

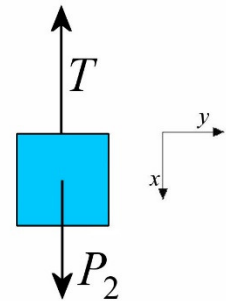
$$T = Ma$$

alors que la somme des forces en x sur la masse suspendue est

$$mg - T = ma$$

En additionnant ces équations, on obtient

$$T + mg - T = Ma + ma$$



En isolant a dans cette équation, on obtient

$$a = \frac{mg}{M + m}$$

En mesurant les masses, on pourra alors obtenir ce qu'on va appeler l'accélération théorique.

On peut aussi trouver l'accélération (qu'on va appeler l'accélération expérimentale) à partir du mouvement de la rondelle. Avec le générateur d'étincelle, on va marquer la position de la rondelle à différents moments. Tout comme au laboratoire 1, on va trouver l'accélération à partir de la vitesse moyenne qui est

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

Puisque

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

la formule de la vitesse moyenne est

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

3- Les lois de Newton et LA FORCE GRAVITATIONNELLE

Cette équation est l'équation d'une droite si l'accélération est constante. Donc, si on trace le graphique de la vitesse moyenne en fonction du temps, on devrait obtenir une droite (si l'accélération est constante). Selon l'équation, la pente de cette droite devrait être

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

et l'ordonnée à l'origine devrait être

$$\text{ordonnée à l'origine} = v_0$$

On va donc calculer la vitesse moyenne $\bar{v}$ à différents moments et ensuite tracer le graphique de la vitesse moyenne en fonction du temps. On pourra alors obtenir l'accélération à partir de la pente du graphique en multipliant la pente par 2 (puisque la pente est $a/2$).

Dans l'analyse, on va vérifier si l'accélération expérimentale est en accord avec l'accélération théorique.

Appareils

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

3- Les lois de Newton et LA FORCE GRAVITATIONNELLE

MANIPULATIONS

- Mesurez les masses de l'objet suspendu de 100 g et de la rondelle.

Masse de l'objet suspendu $m = \underline{\hspace{2cm}} \pm \hspace{0.5cm}$

Masse de la rondelle $M = \underline{\hspace{2cm}} \pm \hspace{0.5cm}$

- Mettez la table au niveau. Il s'agit de placer la rondelle au centre de la table pendant que le compresseur fonctionne. On ajuste ensuite les pattes de la table (en vissant ou en dévissant les pattes) pour que la rondelle reste immobile au centre de la table.
- Sélectionnez la période de 20 Hz sur le générateur d'étincelle. Le temps entre les points sera alors de 0,05 s.
- Placer une feuille sur la table, par-dessus le papier noir.
- Pour que les étincelles se produisent, il faut que les deux rondelles soient sur la table, au-dessus du papier noir. Vous pouvez bloquer le mouvement de la rondelle inutilisée en la plaçant sur un coin du papier que vous aurez pris soin de plier. Ainsi, la rondelle sera coincée sur le pli de la feuille et ne pourra pas se déplacer.
- Attachez la masse suspendue à la rondelle à l'aide d'une corde d'environ 1 m. Faites passer la corde sur la poulie qui a été installée par votre gentil professeur.
- Démarrez le compresseur.
- Placez la rondelle du côté de la table opposé à la poulie et lâchez-la tout en démarrant le générateur d'étincelles un peu avant de lâcher la rondelle. Il ne faut pas que vous donniez de mouvement de côté à la rondelle en la lâchant. Vous pouvez empêcher ce mouvement indésirable en retenant la rondelle avec une corde. Pour laisser partir la rondelle, vous n'aurez qu'à lâcher la corde. De cette façon, il n'y aura aucun mouvement de côté.
- Arrêtez le compresseur et prenez votre feuille.

3- Les lois de Newton et LA FORCE GRAVITATIONNELLE

MESURES

- Mesurer la position de la rondelle à toutes les 0,05 s en prenant un des premiers points comme point de départ. On ne mesure pas la distance entre les points, on mesure toujours à distance à partir du point de départ.

Temps	Position
s	cm
±	±
0,05	
0,10	
0,15	
0,20	
0,25	
0,30	
0,35	
0,40	
0,45	
0,50	
0,55	
0,60	
0,65	
0,70	

Dans la section « mesures » du 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

- Calculez l'accélération théorique de la rondelle à partir de (n'oubliez pas que $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$)

$$a = \frac{mg}{M + m}$$

3- Les lois de Newton et LA FORCE GRAVITATIONNELLE

On va ensuite trouver l'accélération expérimentale.

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

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

Présentez vos résultats sous forme de tableau.

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

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

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Vos deux valeurs de l'accélération sont-elles en accord ?

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.

LABORATOIRE 4

LA FORCE CENTRIPÈTE

But

Vérifier la formule de la force centripète.

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

THÉORIE

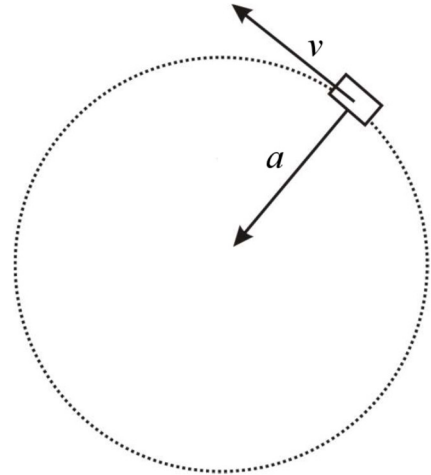
Quand un objet fait un mouvement circulaire uniforme, l'accélération centripète de l'objet est donnée par

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

où T est la période du mouvement et r est le rayon de la trajectoire.

Puisque l'objet a une masse M et puisque la force est $F = Ma$, on en déduit que la grandeur de la force centripète est

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



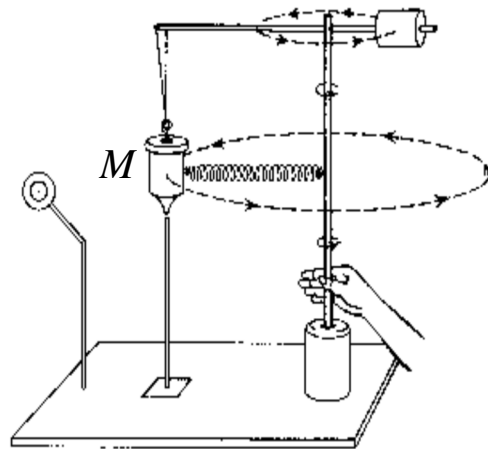
4- LA FORCE CENTRIPÈTE

MÉTHODE UTILISÉE

Nous allons utiliser le montage montré sur la figure.

Dans ce montage, c'est la force exercée par le ressort qui exerce la force centripète. Cela signifie que la force centripète doit être égale à la force faite par le ressort. On veut donc vérifier ici si ces forces sont bel et bien égales.

Sur ce montage, la masse M est accrochée à une tige horizontale à l'aide d'une ficelle. Au départ, le ressort n'est pas fixé à la masse M . Sur la base du montage, une tige verticale ajustable est installée. On placera cette tige verticale de telle sorte qu'elle soit alignée avec l'extrémité pointue de la masse M quand cette dernière est uniquement soutenue par la corde qui la relie à la tige horizontale. Cette tige verticale servira de repère pour faire tourner la masse à la bonne distance de l'axe de rotation. On sait qu'à cette distance, la corde qui fixe à la masse M à la tige horizontale n'exerce pas de force horizontale.



On fixe ensuite le ressort à la masse M .

Ensuite, on va faire tourner la masse M à une vitesse constante avec nos doigts. Pour être certain que la force faite par le ressort est la seule force qui fait la force centripète, il faut faire tourner la masse en s'assurant que l'extrémité pointue de la masse M vient toujours passer directement au-dessus de la tige qui sert de repère (pour s'assurer que la force faite par le ressort soit la seule force qui fait la force centripète).

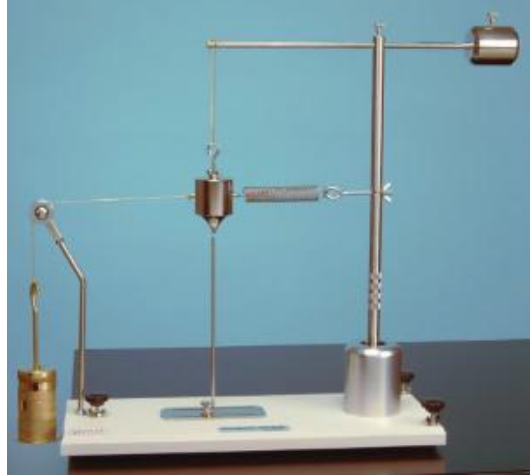
Une fois que la masse sera en rotation (tout en s'assurant de garder la bonne vitesse avec nos doigts), on va mesurer la période de révolution T . En fait, on va mesurer le temps pour faire plusieurs tours et diviser par le nombre de tours. Cela permettra de diminuer l'incertitude sur la période. Ensuite, on va mesurer le rayon de la trajectoire r en mesurant la distance entre le centre de la tige centrale (celle qu'on fait tourner avec nos doigts) et le centre de la petite tige qui sert de support (ou le centre de la petite pointe en bas de la masse M). Puis, on va mesurer la masse M de l'objet qui faisait un mouvement de rotation.

Avec la période T , le rayon de la trajectoire r et la masse M , on pourra calculer la force centripète avec

$$F_c = M \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

4- LA FORCE CENTRIPÈTE

Il faut maintenant trouver la force faite par le ressort. On peut trouver la grandeur de cette force en mesurant la force exercée par le ressort quand le ressort a le même étirement que pendant le mouvement circulaire. Pour ce faire, on va fixer une masse suspendue m à la masse M à l'aide d'une corde passant par la petite poulie (image de droite). On va ensuite ajuster la masse m pour que l'extrémité pointue de la masse M soit en ligne avec la tige qui sert de repère. Quand la pointe et la tige sont alignées, on sait que le ressort a le même étirement que pendant le mouvement circulaire. On sait aussi qu'à cette position, la corde qui relie la masse M à la tige horizontale n'exerce pas de force horizontale et qu'il n'y a donc que 2 forces horizontales sur la masse M : la force faite par le ressort et la tension de la corde reliée à la masse m . Puisque la masse M n'accélère pas, la somme des forces horizontales sur la masse M est



$$F_R - F_T = 0$$

Attention : Il est essentiel que le ressort ainsi que le fil qui va de M à la poulie soient bien horizontaux. Si ce n'est pas le cas, les forces horizontales ne correspondraient pas aux forces F_R et F_T , mais seulement à la composante horizontale de ces forces.

Si $F_R - F_T = 0$ alors $F_R = F_T$. Comme la tension de la corde est égale à mg , on trouve que la force faite par le ressort est

$$F_R = mg$$

On a dit que la force centripète devrait être égale à la force exercée par le ressort dans ce montage. Dans l'analyse, on va donc vérifier si la force centripète F_c est en accord avec la force faite par le ressort F_R .

Appareils

- Montage pour force centripète
- Chronomètre (sur vos téléphones)
- Règle
- Masse et support
- Balance
Incertitude $\pm 0,1$ g

4- LA FORCE CENTRIPÈTE

MANIPULATIONS

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

$$M = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

- Accrochez la masse M à la tige horizontale, mais pas au ressort.
- Réglez la position de la tige verticale ajustable de façon à l'aligner avec l'extrémité pointue de la masse M .
- Mesurez la distance de la masse jusqu'à l'axe. Attention le rayon r est la distance entre le centre des tiges.

$$r = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

- Accrochez le ressort à la masse M .
- En agissant sur l'axe vertical avec vos doigts, faites tourner le montage. Réglez la vitesse de rotation pour que l'extrémité pointue de la masse M passe exactement au-dessus de la tige verticale qui sert de repère. Conservez une vitesse de rotation constante et mesurez, à l'aide d'un chronomètre, la durée de 20 rotations complètes.

$$t = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

- Faites passer le fil fixé à la masse M (probablement enroulée autour de cette dernière) 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).

$$m_{max} = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

$$m_{min} = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

4- LA FORCE CENTRIPÈTE

MESURES

Dans la section « mesures » du rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- La masse M de l'objet qui tourne
- Le rayon r de la trajectoire circulaire
- Le temps t nécessaire pour faire 20 rotations
- Les valeurs minimale et maximale de la masse suspendue m
- La masse suspendue m , trouvée à partir des valeurs minimale et maximale

CALCULS

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

$$F_c = M \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

- Calculez la force exercée par le ressort avec

$$F_R = mg$$

N'oubliez pas que $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$.

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Vos valeurs de la force centripète et de la force exercée par le ressort sont-elles en accord ?

4- LA FORCE CENTRIPÈTE

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.

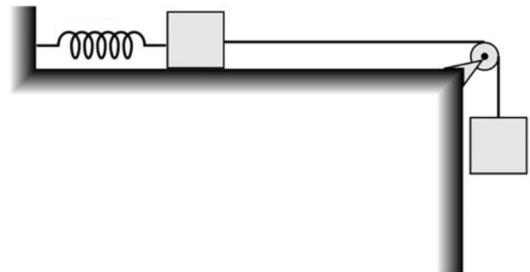
Dans notre expérience, on utilisera un système composé de deux masses et d'un ressort. Ainsi, la loi de la conservation de l'énergie mécanique devient

$$E = \frac{1}{2} M_1 v^2 + M_1 g y_1 + \frac{1}{2} M_2 v^2 + M_2 g y_2 + \frac{1}{2} k x^2 = \text{constante}$$

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 pour marquer la position de la rondelle à intervalles réguliers, nous pourrions mesurer la distance de chute de la masse suspendue,

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

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.

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.

$$E = M_2gy_2$$

Ici, nous allons poser que $y_2 = 0$ se situe à la position finale de la masse suspendue, sa hauteur initiale correspond donc à la distance de chute. Comme la distance de chute correspond aussi au déplacement de la rondelle, on peut la mesurer sur la feuille puisque ce déplacement est égal à la distance entre le point de départ et le point final de la trajectoire marquée sur le papier (distance qu'on va appeler L). On a alors

$$E = M_2gL$$

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

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

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

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

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

Pour trouver la vitesse finale du système, on mesurera la distance entre les points marqués près de la position finale de la rondelle. On aura la vitesse en utilisant $v = d/t$ où t est le temps entre les points.

Il ne manquera alors que la constante du ressort. On va trouver cette dernière en prenant le ressort, en un bout fixant à une tige horizontale et en accrochant une masse m à l'autre bout du ressort. On fera alors osciller ce système masse-ressort et on va mesurer la période d'oscillation. Comme la période d'oscillation d'un tel système est donnée par

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

on pourra trouver la constante du ressort à partir de la masse m et la période d'oscillation avec

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

En fait, on va mesurer le temps de plusieurs oscillations et diviser par le nombre d'oscillations pour obtenir le temps d'une oscillation. Cela permettra de diminuer l'incertitude de la période et de k .

Avec les masses, L , la vitesse et la constante du ressort, nous aurons alors tous les éléments pour calculer l'énergie finale.

Analyse

Dans l'analyse, on va vérifier si l'énergie initiale est en accord à l'énergie finale.

Appareils

- Table à coussin d'air
- Compresseur
- Générateur d'étincelles
 - Incertitude sur la période : $\pm 0,5 \%$
 - Incertitude sur la position des étincelles : $\pm 1 \text{ mm}$
(n'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Rondelle

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Une masse de 200 g (masse suspendue) et une masse de 100 g
- Ressort
- Corde
- Papier
- Balance
Incertitude $\pm 0,1$ g.
- Chronomètre (sur votre téléphone)
- Règle

MANIPULATIONS

- Mesurez la masse de la rondelle.

$$M_1 = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

- Mesurez la masse de la masse suspendue (200 g).

$$M_2 = \underline{\hspace{2cm}}^{\pm}$$

- Mettez la table au niveau. Il s'agit de placer la rondelle au centre de la table pendant que le compresseur fonctionne. On ajuste ensuite les pattes de la table (en vissant ou en dévissant les pattes) pour que la rondelle reste immobile au centre de la table.
- Sélectionnez la période de 50 ms sur le générateur d'étincelle. Le temps entre les points sera alors de 0,02 s.
- Placer une feuille sur la table, par-dessus le papier noir.
- Pour que les étincelles se produisent, il faut que les deux rondelles soient sur la table, au-dessus du papier noir. Vous pouvez bloquer le mouvement de la rondelle inutilisée en la plaçant sur un coin du papier que vous aurez pris soin de plier. Ainsi, la rondelle sera coincée sur le pli de la feuille et ne pourra pas se déplacer.
- Attachez la masse suspendue à la rondelle à l'aide d'une corde d'environ 1 m. Faites passer la corde sur la poulie qui a été installée par votre gentil professeur.

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Attachez un bout du ressort à la rondelle et l'autre bout au bord de la table (dans la petite attache prévue pour cela).
- Démarrez le compresseur.
- Placez la rondelle du côté de la table opposé à la poulie. Au départ, le ressort ne devrait pas être comprimé ou étiré. Lâchez ensuite la rondelle tout en démarrant le générateur d'étincelles un peu avant de lâcher la rondelle. Il ne faut pas que vous donniez de mouvement de côté à la rondelle en la lâchant. Vous pouvez empêcher ce mouvement indésirable en retenant la rondelle avec une corde. Pour laisser partir la rondelle, vous n'aurez qu'à lâcher la corde. De cette façon, il n'y aura aucun mouvement de côté.
- Arrêtez le compresseur et prenez votre feuille.
- Enlevez le ressort du montage et allez le fixer à une tige horizontale déjà installée par votre gentil professeur.
- Prenez une masse de 100 g et mesurez sa masse exacte.

$$m = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{0.5cm}}$$

- Accrochez la masse de 100 g au bout du ressort.
- Donnez un mouvement d'oscillation de 5 cm environ (pas besoin de mesurer, l'amplitude n'a aucune importance) à la masse.
- À l'aide du chronomètre, mesurez la période de 50 oscillations

$$\text{Temps} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{0.5cm}}$$

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.

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Mesurez la distance entre le point de départ et le point que vous avez choisi comme point final.

$$L = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

- Mesurez la distance entre le point précédant le point final et le point suivant le point final.

$$d = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

Dans la section « mesures » du rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

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

Calculs

Énergie initiale

- En utilisant $g = 9,81 \text{ m/s}^2 \pm 0,01 \text{ m/s}^2$, calculez la valeur de l'énergie initiale.

$$E = M_2 g L$$

Énergie finale

Vitesse du système

- Calculez la vitesse finale du système.

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

Constante du ressort

- Calculez la période d'une oscillation.

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

- Calculez la constante du ressort avec

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

Énergie finale

- Calculez la valeur de l'énergie finale.

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

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Vos valeurs d'énergie initiale et d'énergie finale sont-elles en accord ?

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.

5 - LA CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

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 vitesse d'un objet

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

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

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$$

Si on sépare cette équation en composantes, on obtient

$$p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x}$$

et

$$p_{1y} + p_{2y} = p'_{1y} + p'_{2y}$$

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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

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

$$E_{k1} + E_{k2} = E'_{k1} + E'_{k2}$$

MÉTHODE UTILISÉE

Pour vérifier la conservation de la quantité de mouvement et de l'énergie cinétique lors d'une collision, nous allons faire une collision entre les deux rondelles sur une table à coussin d'air, tout en marquant les positions des rondelles à toutes les 0,02 s avec des étincelles. 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 de chaque rondelle avant et après la collision en mesurant la distance parcourue et en divisant par le temps entre les points.

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

On prendra les mesures le plus près possible de la collision pour s'assurer d'avoir vraiment la vitesse juste avant la collision et juste après la collision.

Les points marqués sur la feuille nous permettront également de trouver la direction de la vitesse de chaque rondelle avant et après la collision. Cette direction sera donnée par l'angle entre la direction de la vitesse et la direction de l'axe des x . La direction de cet axe des x aura préalablement été choisie par l'équipe. On peut prendre n'importe quelle direction pour cet axe, mais, une fois qu'on a choisi sa direction, elle doit toujours rester la même.

Avec la masse, la vitesse et la direction de la vitesse de chaque rondelle, on pourra calculer les quantités de mouvement en x et en y de chaque rondelle avant et après la collision avec les formules suivantes.

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

On pourra ensuite trouver la quantité de mouvement totale en x et en y avant et après la collision en additionnant les composantes des quantités de mouvement de chaque rondelle.

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

Avec la masse et la vitesse, on pourra calculer l'énergie cinétique totale avant et après la collision avec la formule suivante.

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

Dans l'analyse, on va vérifier si la quantité de mouvement en x totale avant la collision

6 - Les collisions

est en accord avec la quantité de mouvement en x totale après la collision, si la quantité de mouvement en y totale avant la collision est en accord avec la quantité de mouvement en y totale après la collision et si l'énergie cinétique totale avant la collision est en accord avec l'énergie cinétique totale après la collision.

Appareils

- Table à coussin d'air.
- Compresseur.
- Générateur d'étincelles
 - Incertitude sur la période : $\pm 0,5 \%$
 - Incertitude sur la position des étincelles : $\pm 1 \text{ mm}$
(n'inclut pas l'incertitude sur la règle.)
- Deux rondelles.
- Papier
- Balance
 - Incertitude $\pm 0,1 \text{ g}$
- 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.

$$m_1 = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

$$m_2 = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

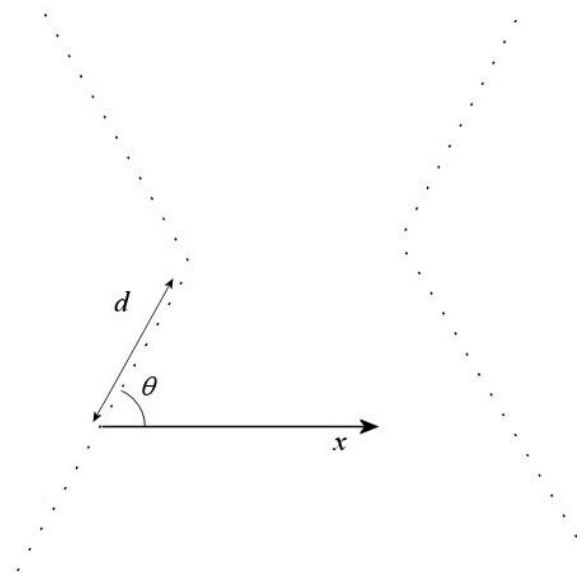
- Mettez la table au niveau. Il s'agit de placer une rondelle au centre de la table pendant que le compresseur fonctionne. On ajuste ensuite les pattes de la table (en vissant ou en dévissant les pattes) pour que la rondelle reste immobile au centre de la table.

6 - Les collisions

- Sélectionnez la période de 50 ms sur le générateur d'étincelle. Le temps entre les points sera alors de 0,02 s.
- Placer une feuille sur la table, par-dessus le papier noir.
- Démarrez le compresseur.
- Lancez les deux rondelles l'une vers l'autre pour qu'elle entre en collision environ au centre de la feuille tout en démarrant le générateur d'étincelles un peu avant de lancer les rondelles.
- Arrêtez le compresseur et prenez votre feuille.

MESURES

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



- Choisissez-vous un axe des x . Le choix de ces axes se fait selon vos goûts, mais une fois que le choix est fait, il doit toujours rester le même.
- Mesurer la distance (d) et le nombre d'intervalles entre les points (N) près de la collision pour chacune des rondelles avant et après la collision.

$$N_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad d_1 = \underline{\hspace{2cm}} \pm$$

$$N_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad d_2 = \underline{\hspace{2cm}} \pm$$

$$N'_1 = \underline{\hspace{2cm}} \quad d'_1 = \underline{\hspace{2cm}} \pm$$

$$N'_2 = \underline{\hspace{2cm}} \quad d'_2 = \underline{\hspace{2cm}} \pm$$

6 - Les collisions

- Mesurer l'angle (θ) entre la vitesse et l'axe des x .

$$\theta_1 = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

$$\theta_2 = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

$$\theta'_1 = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

$$\theta'_2 = \underline{\hspace{2cm} \pm \hspace{2cm}}$$

Dans la section « mesures » du rapport de laboratoire, donnez les valeurs suivantes.

- La masse de la rondelle 1 (m_1)
- La masse de la rondelle 2 (m_2)
- Le nombre d'intervalles entre les points marqués pour la rondelle 1 avant la collision (N_1)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 1 avant la collision (d_1)
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 1 avant la collision (θ_1)
- Le nombre d'intervalles entre les points marqués pour la rondelle 2 avant la collision (N_2)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 2 avant la collision (d_2)
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 2 avant la collision (θ_2)
- Le nombre d'intervalles entre les points marqués pour la rondelle 1 après la collision (N'_1)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 1 après la collision (d'_1)
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 1 après la collision (θ'_1)
- Le nombre d'intervalles entre les points marqués pour la rondelle 2 après la collision (N'_2)
- La distance entre deux points marqués pour la rondelle 2 après la collision (d'_2)
- L'angle entre la vitesse et l'axe des x pour la rondelle 2 après la collision (θ'_2)

Calculs

- Calculez le temps entre les points pour les deux rondelles avant et après la collision avec

$$t = N \cdot 0,02s$$

6 - Les collisions

- Calculez la vitesse des deux rondelles avant et après la collision avec

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

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

$$p_x = mv \cos \theta$$

$$p_y = mv \sin \theta$$

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

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

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

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

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

ANALYSE DES RÉSULTATS

- Vos deux valeurs de quantités de mouvement en x avant et après la collision sont-elles en accord ?
- Vos deux valeurs de quantités de mouvement en y avant et après la collision sont-elles en accord ?
- Vos deux valeurs d'énergie cinétique avant et après la collision sont-elles en accord ?

Annexer la grande feuille faite au laboratoire au rapport.