Chocs élastiques

I. Chocs de billes de masses égales

Le but de l'expérience est de vérifier que les chocs proposés, de deux billes d'acier identiques, sont élastiques.

Matériel à disposition

Billes sphériques d'acier de même diamètre ; pied à coulisse ; feuilles de papier carbone et de papier transparent ; instruments de géométrie et un petit toboggan muni de dispositifs permettant :
a) le départ de la bille incidente à un niveau donné et sans vitesse initiale ;
b) le réglage de l'excentricité relative des billes "à l'instant du choc".

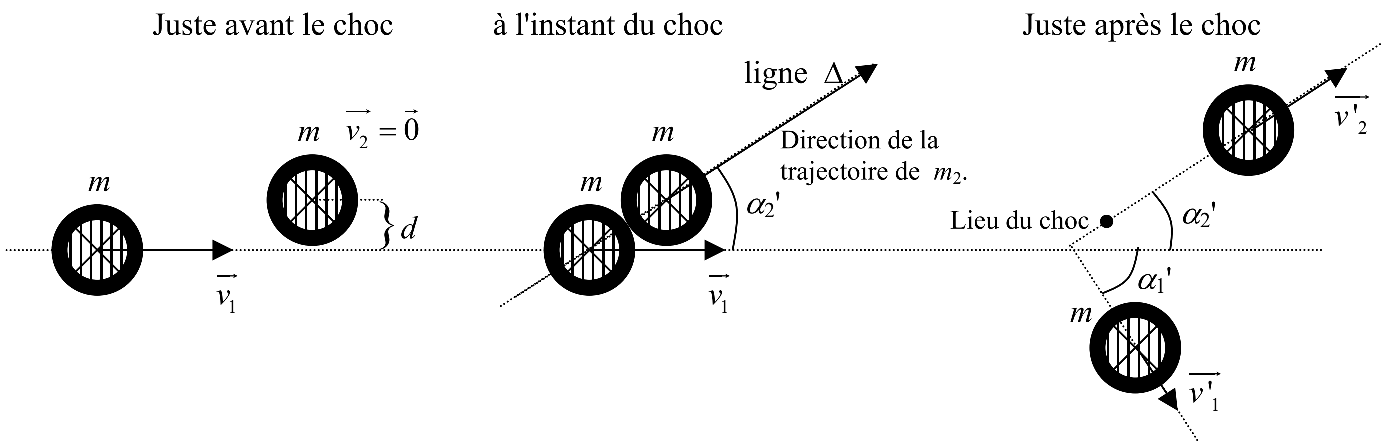
Eléments de théorie

Pour chaque choc étudié, la bille 2 est initialement immobile. Le système des deux billes de masses égales m pouvant être considéré comme isolé de toute action extérieure pendant le choc, on peut exprimer la conservation de la quantité de mouvement totale :

$$m \cdot \vec{v}_1 + \vec{0} = m \cdot \vec{v}\,'_1 + m \cdot \vec{v}\,'_2 \quad \text{et donc} \quad \underline{\vec{v}_1 = \vec{v}\,'_1 + \vec{v}\,'_2} \quad ①$$

où $\vec{v}_1$ est la vitesse initiale de la bille 1 et $\vec{v}\,'_1$, $\vec{v}\,'_2$ les vitesses finales des deux billes.
Si, par surcroît, le choc est élastique, la conservation de l'énergie cinétique totale est vérifiée et on peut écrire :

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + 0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v'^2_1 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v'^2_2 \quad \text{et donc} \quad \underline{v_1^2 = v'^2_1 + v'^2_2} \quad ②$$



Comme il n'apparaît aucune variation de la quantité de mouvement de l'une ou de l'autre des deux billes dans toute direction perpendiculaire à la ligne Δ qui joint les centres des billes "à l'instant du choc", l'angle α_2' que forme la vitesse $\overrightarrow{v'_2}$ avec la direction de la vitesse $\overrightarrow{v_1}$, est donné par :

$\sin(\alpha_2') = \dfrac{d}{D}$, où

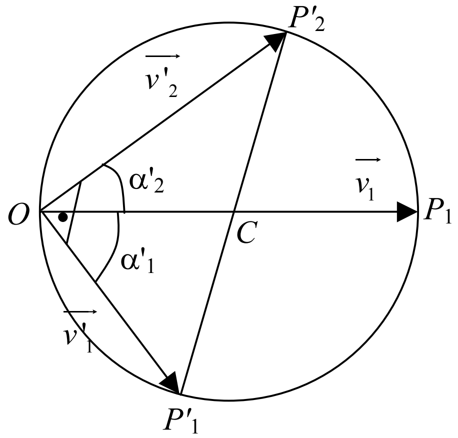
d est la distance entre le centre de m_2 et la ligne définie par la direction de $\overrightarrow{v_1}$ avant le choc ;
D est le diamètre d'une bille.

Par ailleurs, on démontre, à partir des relations ① et ②, que l'angle $\alpha' = \alpha_1' + \alpha_2'$ entre les vitesses finales $\overrightarrow{v'_1}$ et $\overrightarrow{v'_2}$ est droit, pour toute valeur de d ($-D < d < D$).

suite au verso...

Si on représente les vecteurs $\vec{v}_1$, $\vec{v'}_1$ et $\vec{v'}_2$ par des flèches de même origine O, l'extrémité de ces flèches et l'origine O se trouvent sur un cercle de diamètre égale à $\|\vec{v}_1\|$, centré au milieu C de la flèche représentant $\vec{v}_1$. *Justifiez cela en utilisant le cercle de Thalès ;* $\vec{v'}_1 \perp \vec{v'}_2$ et ②.

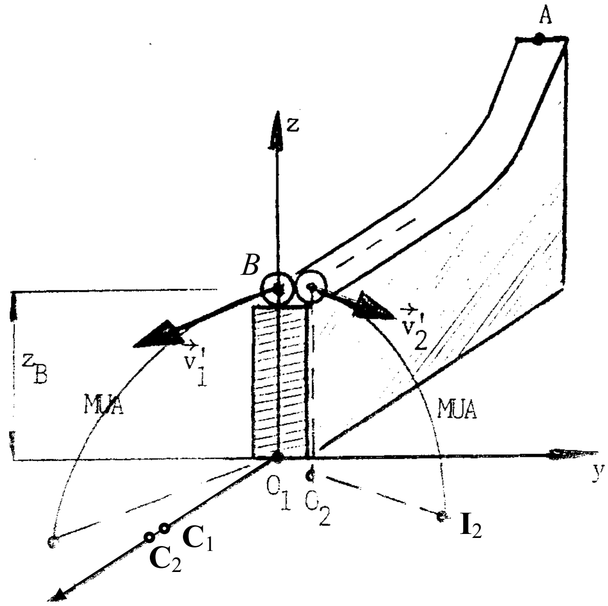
$[P'_1 \,;\, P'_2]$ est un diamètre du cercle.



La quantité : $\dfrac{\Delta E}{E} = \dfrac{v_1^2 - v'^2_1 - v'^2_2}{v_1^2}$ représente la perte relative d'énergie cinétique lors du choc. Elle mesure à quel point le choc est élastique. En théorie cette quantité est nulle.

Partie expérimentale

La bille incidente b_1 part toujours, sans vitesse initiale du même point A du petit toboggan.
Chaque choc étudié a lieu au niveau B ($z = z_B$) où la bille b_2 est initialement immobile.
Au niveau B, la glissière est horizontale de telle sorte que les trois vitesses $\vec{v}_1$ juste avant le choc et $\vec{v'}_1$ et $\vec{v'}_2$ juste après le choc sont horizontales.



Sur la plaque horizontale ($O_1\,x\,y$) recouverte d'une feuille de papier carbone et d'une feuille de papier transparent, les points O_1 et O_2 (à repérer) sont les projections horizontales respectives des centres de la bille b_1 et de la bille b_2 "à l'instant du choc".
Les points O_1 et O_2 sont-ils à des positions fixes, où varient-ils avec le paramètre *d ?*
Les points I_1 et I_2, pour chaque choc étudié, sont les points d'impact des billes sur la plaque horizontale.

Le temps de chute t des deux billes est le même et satisfait : $z_B = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$. Donc $t = \sqrt{\dfrac{2 \cdot z_B}{g}}$.

Les composantes horizontales x et y suivent un MRU.
Pour la bille b_1 : $O_1I_1 = v'_1 \cdot t$

Pour la bille b_2 : $O_2I_2 = v'_2 \cdot t$

On a aussi : $O_1I_0 = v_1 \cdot t$ où I_0 est le point d'impact sur la plaque de la bille b_1, si aucune bille n'est placée en B.
Ceci permet de mesurer les trois vitesses qui nous intéressent, par des mesures de distances.

Manipulations

a) Mesurez le diamètre D des deux billes identiques mises à votre disposition, puis placez, sur la plaque horizontale, une feuille de papier carbone et une feuille de papier transparent.

b) Pour $d = 0$ [mm], repérez les positions O_1 et O_2.

c) Mesurez la hauteur z_B pour déterminer le temps de chute t_B et déterminez ce temps t_B.

d) Décalez le support de la deuxième bille que vous laisserez vide ($d = -17$ [mm]), puis placez la bille incidente b_1 en position de départ (en A), l'électro-aimant devant être alimenté. Interrompez le courant de l'électro-aimant. La bille b_1 descend, parvient sur la plaque horizontale au point I_0 (repérez l'impact). La distance horizontale O_1I_0 permet de déterminer la vitesse v_1 de la bille b_1 juste avant le choc. Répétez la même manipulation pour plusieurs descentes de la bille b_1. Chaque impact doit être repéré. Vous adopterez une position moyenne I_0, en tenant compte de la dispersion des impacts.

e) Commencez par l'étude d'un choc avec $d = -14$ [mm]. Repérez la position O_2. Placez la bille b_1 en position de départ (en A) et la bille b_2 sur son support (niveau B) décalé de 14 [mm] dans le sens négatif de l'axe. Faites partir la bille b_1 et notez les positions d'impacts I_1 et I_2. Répétez la même manipulation plusieurs fois.

f) Recommencez le point e) avec des positions de support variant :
$d = -12, -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$ [mm].
Notez à chaque fois les positions d'impacts I_1 et I_2 et répétez la même manipulation plusieurs fois.

g) Pour $d = 14$ [mm], repérez la position O_2.

h) O_1I_0 représente un diamètre du cercle des impacts de la première bille. Notez sa valeur et repérez le centre de ce cercle.

i) Pour $d = 0$ [mm], O_2I_2 représente un diamètre du cercle des impacts de la deuxième bille. Notez sa valeur et repérez le centre de ce cercle.

j) Fortifiez les centres de ces cercles avec de l'adhésif, puis tracez-les. Vérifiez qu'ils passent proche des points d'impacts.

k) Est-il nécessaire en pratique de tenir compte du fait que les origines O_1 et O_2 ne coïncident pas ?

ℓ) Pour quelques chocs choisis, déterminez les vitesses v_1, v'_1, v'_2 et les angles α'_1 et α'_2 et vérifiez à quel point les chocs sont élastiques.
Pour cela, un tableau contenant les valeurs suivantes est intéressant :

d	$\arcsin(d/D)$	O_1I_1	v'_1	v'^2_1	α'_1	O_2I_2	v'_2	v'^2_2	α'_2	$\alpha'_1 + \alpha'_2$	$\frac{\Delta E}{E}$

Notez les valeurs : D ; t ; O_1I_0 ; v_1 ; v_1^2 juste avant le tableau, avec leur incertitude.

Rappel : $\dfrac{\Delta E}{E} = \dfrac{v_1^2 - v'^2_1 - v'^2_2}{v_1^2}$

m) Quel conclusion tirez-vous de ce qui précède ?