Partie VI : Mécanique
Chapitres 1 et 3

TP 16 – Balle rebondissante

Matériel : une balle rebondissante, un micro (du B1), logiciel Audacity, un mètre, de quoi repérer la hauteur du lâcher de la balle.

Objectifs : exploiter les théorèmes énergétiques pour modéliser les phases de rebond d'une balle ; tester ce modèle ; en déduire une mesure de la pesanteur terrestre.

Documents

Rebond et coefficient de restitution

Lorsqu'une balle rebondit sur le sol, son énergie cinétique se transforme en énergie potentielle élastique (la balle se tasse) qui est ensuite libérée à nouveau sous forme d'énergie cinétique dans la direction opposée (la balle se détend et décolle vers le haut).
On parle de rebond élastique si l'énergie cinétique E_c' juste après impact est identique à l'énergie cinétique E_c juste avant impact.
Un rebond n'est jamais parfaitement élastique : une partie de l'énergie cinétique incidente est perdue sous forme d'échauffement de la balle et du support, ou sous forme d'ondes sonores, ou encore en vibrations du support non restituées à la balle.
On définit alors le coefficient de restitution $\alpha = \dfrac{E_c'}{E_c}$. On supposera en première approximation que α ne dépend pas de la vitesse incidente et est donc constant.

L'objectif de ce TP est de mesurer ce coefficient de restitution d'une balle rebondissante, de vérifier son caractère constant et d'en profiter pour mesurer g.

Étude théorique

On définit T_n comme la durée qui s'écoule entre l'impact au sol numéro n et le suivant. On peut montrer, sous les hypothèses où α est constant, où on néglige tout frottement dû à l'air, où les mouvements sont strictement verticaux, et où on néglige toute rotation de la balle sur elle-même, qu'on a la relation suivante :

$$T_n = 2\alpha^{n/2}t_0, \tag{1}$$

avec $t_0 = \sqrt{\dfrac{2h_0}{g}}$ la durée de la chute initiale, h_0 la hauteur initiale du lâcher, et g la pesanteur. Cette relation est démontrée dans le DM associé.

Manipulations

Proposer et mettre en œuvre un protocole permettant de vérifier si la relation ci-dessus donnant T_n est bien valide ou non. Si elle est validée, en déduire une mesure de g et de α. En particulier :

- On expliquera bien comment on procède : quelqu'un qui lit le compte rendu doit pouvoir reproduire vos manipulations.
- On fera attention à mesurer aussi précisément que possible la hauteur initiale du lâcher, qui est à repérer à partir de la partie inférieure de la balle et non pas de son centre.
- On utilisera le logiciel Latis Pro pour exploiter un enregistrement audio.
- On évaluera l'incertitude sur la valeur estimée de g.

Partie VI : Mécanique
Chapitre 3

DM 11 – Balle rebondissante

Cet exercice s'intéresse au mouvement d'une balle rebondissante lâchée depuis une certaine hauteur initiale h_0. Il s'agit de la partie théorique du TP correspondant.

On considère donc une balle rebondissante de masse m, lâchée sans vitesse initiale depuis une hauteur h_0. On néglige tout frottement. On note g le champ de pesanteur uniforme.

On lâche la balle à $t = 0$, et on note t_0 l'instant du premier impact avec le sol, et v_0 la vitesse juste avant l'impact.

On choisit un axe z vertical, avec une orientation et une origine laissée au choix.

1 - En étudiant la première phase du mouvement, où la balle est en chute libre vers le sol, montrer que l'instant de l'impact est $t_0 = \sqrt{2h_0/g}$.

Une fois au sol, la balle rebondit. Le rebond n'étant pas parfaitement élastique, la balle perd une partie de son énergie cinétique. Notons E_{cn} l'énergie cinétique juste avant l'impact numéro n et E'_{cn} celle juste après cet impact. Ces deux énergies ne sont pas égales, car une partie de l'énergie est perdue lors du rebond. On a donc :

$$E'_{cn} = \alpha E_{cn}, \quad \text{avec} \quad \alpha < 1 \ \text{ le coefficient de restitution.}$$

2 - Montrer par un raisonnement énergétique que pour le tout premier impact ($n = 0$), $E_{c0} = mgh_0$, puis que la hauteur maximale atteinte par la balle après ce premier rebond est $h_1 = \alpha h_0$.

3 - En déduire l'expression de la hauteur maximale h_n atteinte après l'impact numéro n en fonction de h_0 et de n.

On s'intéresse ensuite à la durée T_n qui s'écoule entre l'impact n et l'impact suivant. Il s'agit de la durée mise pour monter à la hauteur h_n et redescendre au sol, qui donc vaut deux fois la durée mise pour aller de h_n au sol.

4 - Montrer que $T_n = 2\alpha^{n/2} t_0$.

On décide enfin d'exploiter une série de mesure de 10 rebonds, comme en TP.

5 - Que faut-il tracer en fonction de quoi afin d'en déduire le temps t_0 et le coefficient de restitution α ? On fera en sorte pour répondre d'exploiter une régression linéaire.

Comment en déduire une mesure de g ?