

y_s nombre de fois où $x \in (x_m - 3\varepsilon, x_m + 3\varepsilon)$ et $f_s = \frac{y_s}{\sum n_i}$.

On peut montrer que la fréquence relative, f , tend vers la probabilité quand l'effectif global (nombre total de mesures $\sum n_i$) est très grand. En admettant ceci pour vos mesures, vous aurez donc une évaluation assez grossière de la probabilité :

- p_1 pour que $x \in (x_m - \varepsilon, x_m + \varepsilon)$,
- p_2 pour que $x \in (x_m - 2\varepsilon, x_m + 2\varepsilon)$,
- p_3 pour que $x \in (x_m - 3\varepsilon, x_m + 3\varepsilon)$.

II. — ETUDE CINEMATIQUE DE LA CHUTE LIBRE

A. — Chute d'une bille

1° But de la manipulation.

Etude directe de la chute libre d'une bille en acier : on mesure la durée du mouvement pour différentes hauteurs de chute.

La mesure du temps sera effectuée avec une horloge électrique donnant le $1/100^e$ de seconde; ou, à défaut, par « écriture électrique » obtenue par électrolyse, en courant alternatif de fréquence 50 Hz, de la liqueur de Janet. L'électrode qui « écrit » étant en fer marque un trait bleu chaque fois qu'elle est anode.

2° Montage (*expérience conduite avec un chronographe électrique*).

G : générateur 12 volts (continu).

Rh : rhéostat de 15 Ω .

E : électro-aimant. Entourer le noyau de l'électro-aimant, de scotch de manière à éviter un retard de la chute de la bille, dû au magnétisme rémanent en « circuit magnétique fermé ».

i : interrupteur Morse.

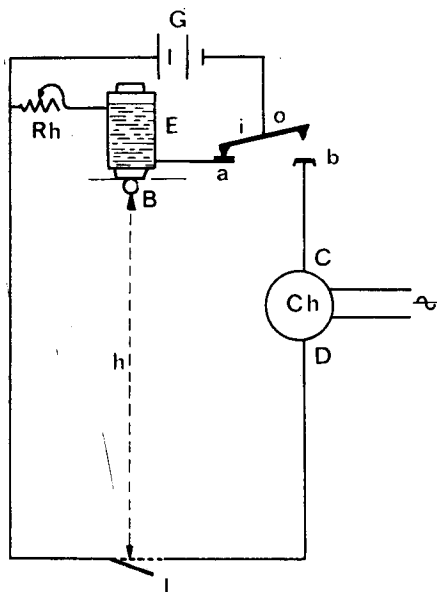
I : interrupteur s'ouvrant quand B arrive à la fin de sa chute.

Ch : chronographe électrique dont l'embrayage électromagnétique est commandé par la fermeture de i en position b et le débrayage par l'ouverture de I.

Le moteur du chronographe est alimenté par le courant alternatif du secteur (110 ou 220 V - consulter les indications portées par l'appareil).

Avant toute expérience, vérifier l'horizontalité du socle de l'appareil en agissant sur ses vis calantes, et s'assurer que l'in-

interrupteur I est *fermé*. Régler le rhéostat pour que la bille soit tout juste retenue par l'électro-aimant, *i* étant fermé en position *a*. Alimenter le moteur du chronographe. Basculer *i* en position *b*, et le maintenir dans cette position. B tombe, le mécanisme d'horlogerie du chronographe est embrayé, puis débrayé lorsque I s'ouvre sous le choc de la bille (l'interrupteur Morse étant toujours fermé en position G).



3° Mesures.

Faire varier la hauteur de chute de la bille et mesurer la durée du mouvement.

h	t	t^2

Recommencer plusieurs fois la même mesure.

Construire les courbes : 1) $h = f(t)$,
2) $h = \varphi(t^2)$.

En déduire la loi du mouvement étudié ainsi que l'accélération. Avec quelle précision celle-ci est-elle déterminée en se plaçant dans les meilleures conditions de mesure ?

Remarque.

Si l'on est obligé de recourir à la méthode « d'écriture électrique » pour la mesure du temps, il sera nécessaire de remplacer G par le courant alternatif du secteur ; on mettra alors une

lampe à filament de carbone comme résistance de protection de l'électro-aimant. Le chronographe sera remplacé par une plaque de zinc reliée en C à *b* et sur laquelle on placera une feuille de papier imprégnée sans excès de liqueur de Janet. D sera la pointe traçante en fer. Commencer à tracer avec celle-ci, *i* étant fermé en *a*, et tout en continuant à tracer, basculer en position *b*, etc...

B. — Chute d'un cylindre : appareil Lefebvre

I. Principe.

Un obus de forme cylindro-conique portant une plaque cylindrique P en plexiglas recouverte d'une feuille de papier, tombe en chute libre devant un appareil à jet d'encre rotatif entraîné par un moteur électrique tournant à vitesse constante, à raison de 50 tours par seconde, autour d'un axe vertical coïncidant avec l'axe de symétrie de P.

Le jet d'encre inscrit sur P des arcs de parabole chaque fois que le jet d'encre se trouve en face de P, donc tous les $2 \cdot 10^{-2}$ seconde.

II. Schéma de l'appareil.

Faire un schéma de l'appareil et expliquer son fonctionnement. Noter les avantages de cet appareil par rapport aux autres appareils que vous connaissez et qui ont également pour but l'étude de la chute libre.

III. Conduite de l'expérience.

1° S'assurer que l'appareil est bien vertical en réglant les vis calantes de son socle (l'horizontalité de celui-ci est contrôlé par le niveau à bulle d'air).

2° Introduire très peu d'encre (préalablement tiédie pour accroître sa fluidité) dans le système encreur dont l'orifice d'éjection de l'encre aura été préalablement soigneusement nettoyé. Eviter tout excès d'encre.

3° Fermer le circuit de l'électro-aimant, mettre en place l'obus, placer une feuille de papier sur le cône récepteur.

4° Faire tourner le moteur qui entraîne le système encreur ; attendre la vitesse de synchronisation (1 à 2 s) puis couper le courant dans l'électro-aimant (l'obus tombe en chute libre) ; couper le courant dès que la chute est terminée.

IV. Etude de l'enregistrement.

Soit A_0 la première inscription nette sur le bord droit de la feuille et en bas, et $A_1, A_2, \dots A_n$ les suivantes. On prendra A_0 comme origine des espaces et comme origine des temps l'instant de cette inscription.

$A_1, A_2 \dots A_n$ représentent les positions du mobile aux temps $\vartheta, 2\vartheta \dots n\vartheta$ ($\vartheta = 2 \times 10^{-2}$ s).

Mesurer au pied à coulisse les longueurs $A_0A_1, A_1A_2 \dots A_{n-1}A_n$.

Peut-on déduire de la suite des valeurs obtenues la loi du mouvement et l'accélération de celui-ci ?

**C. — Enregistrement du diagramme des espaces
d'un mouvement rectiligne uniformément varié
Machine de Morin**

I. But.

Enregistrement et étude de la courbe.

II. Matériel.

Voir la notice du constructeur ; noter :

- les parties classiques de l'appareil ;
- les détails techniques intéressants.

III. Opérations.

1° Réglage de la machine.

Régler la verticalité de l'appareil (niveau à bulle).

Enlever le cylindre (éviter tout choc).

Fixer une feuille de papier sur le cylindre : remarquer que le déclenchement par le bouton-poussoir (du socle) se produit toujours pour la même position du cylindre : donc, en plaçant le papier sur le cylindre, respecter le repère ainsi que le sens de l'enroulement, pour éviter que le crayon n'accroche le bord du papier.

Régler la pression du crayon : une pression trop forte risque de détériorer le cylindre.

2° Relevé de la courbe.

a) Le corps, dont on va étudier la chute, étant enclenché à la partie supérieure du bâti, mettre le moteur en marche. Le crayon décrit alors un cercle d'un mouvement uniforme : des distances égales sont donc parcourues dans des temps égaux. Après déroulement de la feuille, ce cercle donnera une droite qui pourra servir d'axe des temps.

b) Enclencher le corps au sommet de l'appareil, puis le faire tomber, le cylindre étant immobile. On tracera ainsi l'axe des espaces, permettant de relever facilement les hauteurs de chute.

c) Ramener le corps à la partie supérieure, mettre le moteur en marche ; attendre quelques secondes pour atteindre une

vitesse uniforme. Déclencher la chute en appuyant sur le bouton-poussoir du socle ; la courbe s'enregistre.

d) En vue de l'étalonnage de l'axe des temps, on déterminera la vitesse de rotation du cylindre dans les conditions de l'expérience (feuille et crayon en place, ce dernier à la partie inférieure) ; on mesurera le temps θ mis pour effectuer n tours (on pourra prendre $n = 50$).

e) Sortir le cylindre de la machine ; enlever la feuille, puis remettre le cylindre en place.

Les courbes ont été tracées d'avance et un exemplaire est remis à chaque groupe, où mieux à chaque élève ; mais il est bon de tracer une courbe devant les élèves.

IV. Etude de la courbe.

1° Première méthode.

a) *Obtention du sommet.* La tangence de la courbe avec l'axe des temps ne permet pas de déterminer avec précision le sommet.

Prendre sur l'axe des temps une série de points équidistants A, B, C ... (une dizaine par exemple, distants de 2 cm). Mesurer les espaces de chute h correspondants : Aa, Bb, Cc ... Calculer $\sqrt{h}$ et représenter $\sqrt{h} = f(t)$.

On pourra prendre en ordonnée une échelle plus grande : par exemple une unité $\sqrt{h}$ correspondant à 5 cm.

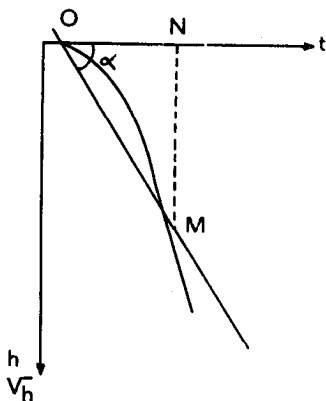


Fig. 1

Conclusions :

- pour la nature de la courbe, donc pour la nature du mouvement ;
- pour la position du sommet.

b) *Détermination de l'accélération g.* Il est facile de voir

que la pente de la droite, $\sqrt{h}$ fonction de t , est $\sqrt{\frac{1}{2} g}$.

Pour déterminer la pente, $\tan \alpha$, choisir un point M aussi éloigné que possible sur la droite et se projetant en N sur l'axe des temps. L'origine O étant l'intersection de la droite et de l'axe

des temps, on en déduira : $\tan \alpha = \frac{MN}{ON}$.

(On fera attention aux échelles et aux unités choisies.)

Evaluer les incertitudes sur g . Comparer la valeur trouvée à la valeur réelle. Comment expliquer l'écart constaté ?

2° Deuxième méthode.

Pour la série de points A, B, C ... les hauteurs de chute sont Aa, Bb, Cc ..., calculer les différences premières et les différences secondes. Conclusion pour la nature de la courbe et la nature du mouvement.

Connaissant les caractéristiques du cylindre, calculer les temps correspondants à Aa, Bb, Cc ... Calculer la valeur de g . Incertitude ?

N.B. — Justifier la construction du sommet ci-contre (fig. 2) :

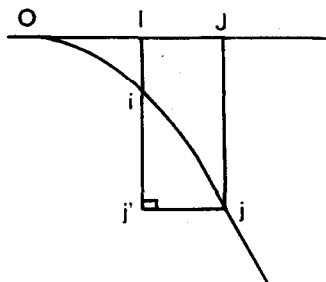


Fig. 2

I point quelconque

$$Ij' = 4 Ii$$

$$IO = JI.$$