

Sujet type bac

Mouvement dans un champ uniforme

Deux exercices indépendants : le lancer du poids, la charge d'un grain de poussière

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : /20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. Il est rappelé que la qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies. Toute expression littérale est établie avant l'application numérique ; toute démarche, même partielle, est valorisée.

Exercice 1 Le lancer du poids : le modèle et la mesure

12 pts ●●●

Le lancer du poids est une épreuve d'athlétisme dans laquelle l'athlète projette le plus loin possible une sphère métallique. Cet exercice confronte le modèle de la chute libre à un enregistrement vidéo réalisé lors d'un concours, puis étudie les énergies mises en jeu. Le mouvement est étudié dans le référentiel terrestre, dans le repère $(O ; x, y, z)$ d'axe (Oz) vertical ascendant, l'origine O étant au sol, à la verticale du point de lâcher.

■ **DONNÉES** $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

■ DOCUMENT 1 — Le lancer étudié

- Masse réglementaire du poids en catégorie senior masculine : $m = 7,26 \text{ kg}$; diamètre : 12 cm.
- L'athlète lâche le poids à l'altitude $z_0 = 2,05 \text{ m}$, avec un vecteur vitesse initiale contenu dans le plan (xOz) , de valeur $v_0 = 13,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, faisant l'angle $\alpha = 38,0^\circ$ avec l'horizontale.
- La distance officielle du lancer est mesurée entre la planche d'appel (située à la verticale du point de lâcher) et le point d'impact au sol : $D_{\text{mes}} = 20,28 \text{ m}$, avec une incertitude-type $u(D) = 0,05 \text{ m}$.
- Pour un objet de cette masse et de cette taille, la force de frottement de l'air reste inférieure à 1 % du poids.

■ DOCUMENT 2 — Relevé vidéo du mouvement du centre de masse

$t \text{ (s)}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$x \text{ (m)}$	0,00	2,13	4,26	6,38	8,51	10,64	12,77	14,89	17,02	19,15
$z \text{ (m)}$	2,05	3,52	4,59	5,27	5,56	5,46	4,96	4,07	2,79	1,12

Coordonnées du centre de masse du poids relevées toutes les 0,2 s par pointage vidéo. On utilisera la méthode des différences centrées : $v_x(t_n) \approx \frac{x_{n+1} - x_{n-1}}{2\Delta t}$ et $v_z(t_n) \approx \frac{z_{n+1} - z_{n-1}}{2\Delta t}$, avec $\Delta t = 0,2 \text{ s}$.

Partie A — Le modèle de la chute libre

- 1.1** Préciser le système étudié et justifier que le référentiel terrestre peut être considéré comme galiléen pour cette étude. À l'aide du document 1, justifier que le poids peut être considéré en chute libre.

- 1.2** Établir les coordonnées du vecteur accélération du centre de masse, puis, par intégration, celles du vecteur vitesse et du vecteur position. Montrer que le mouvement est plan et préciser ce plan.
- 1.3** En déduire l'équation de la trajectoire $z(x)$ et montrer qu'elle s'écrit $z(x) = -0,0433 x^2 + 0,781 x + 2,05$ (avec x et z en mètres).
- 1.4** Le poids touche le sol lorsque $z = 0$. Établir l'équation du second degré vérifiée par la durée du vol t_v , la résoudre, et montrer que $t_v = 1,91$ s.
- 1.5** En déduire la portée D_{mod} prévue par le modèle. Calculer également la flèche du lancer et la date à laquelle elle est atteinte.

Partie B — Ce que dit l'enregistrement vidéo

- 1.6** À l'aide du document 2, calculer v_x aux dates 0,4 s et 1,0 s. Que peut-on en conclure ? Relier cette observation à la deuxième loi de Newton.
- 1.7** Calculer v_z à ces deux mêmes dates, puis en déduire la valeur de la composante verticale a_z du vecteur accélération. Comparer à la valeur attendue et commenter l'écart.
- 1.8** À partir du relevé, déterminer la valeur v_0 de la vitesse initiale et l'angle de tir α . Comparer aux valeurs annoncées dans le document 1.
- 1.9** Comparer la portée D_{mod} prévue par le modèle à la distance officielle D_{mes} en calculant l'écart normalisé $z_{\text{sc}} = \frac{|D_{\text{mod}} - D_{\text{mes}}|}{u(D)}$. Le modèle de la chute libre est-il validé par la mesure (on considère qu'il y a compatibilité si $z_{\text{sc}} < 2$) ?

Partie C — Aspects énergétiques

- 1.10** Calculer l'énergie cinétique, l'énergie potentielle de pesanteur (prise nulle au sol) et l'énergie mécanique du poids à l'instant du lâcher.
- 1.11** Justifier que l'énergie mécanique se conserve, puis en déduire la valeur de la vitesse du poids au moment de l'impact au sol. Comparer à v_0 et interpréter.
- 1.12** Le programme Python ci-dessous exploite le relevé du document 2 pour suivre l'évolution des énergies. Compléter la ligne 13, puis décrire l'allure des trois courbes tracées par le programme.

```

1 import matplotlib.pyplot as plt
2 m, g, dt = 7.26, 9.81, 0.2
3 t = [0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8]
4 x = [0.00, 2.13, 4.26, 6.38, 8.51, 10.64, 12.77, 14.89, 17.02, 19.15]
5 z = [2.05, 3.52, 4.59, 5.27, 5.56, 5.46, 4.96, 4.07, 2.79, 1.12]
6
7 Ec, Epp, Em = [], [], []
8 for i in range(1, len(t)-1):
9     vx = (x[i+1] - x[i-1]) / (2*dt)
10    vz = (z[i+1] - z[i-1]) / (2*dt)
11    Ec.append(0.5 * m * (vx**2 + vz**2))
12    Epp.append(m * g * z[i])
13    Em.append(...) # ligne à compléter
14
15 plt.plot(t[1:-1], Ec, t[1:-1], Epp, t[1:-1], Em)
16 plt.show()
```

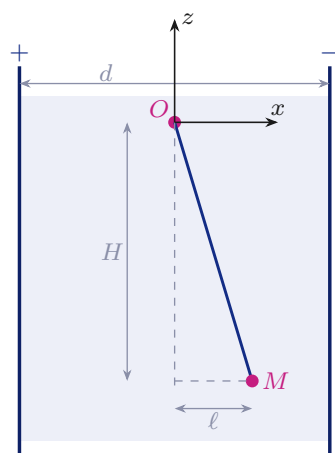
- 1.13** En tenant compte cette fois de la force de frottement de l'air, indiquer comment évoluerait la courbe $E_m(t)$ et si la portée réelle serait supérieure ou inférieure à D_{mod} . Ce résultat est-il cohérent avec la réponse à la question 1.9 ?

Exercice 2 Mesurer la charge d'un grain de poussière

8 pts ●●●

Pour étudier l'électrisation des poussières dans une salle blanche, des techniciens ont conçu le dispositif de la figure 1 : deux plaques métalliques planes, parallèles et *verticales*, distantes de $d = 5,0$ cm, sont soumises à une tension $U = 2,00$ kV. Un grain de poussière de masse $m = 2,0$ μg , porteur d'une charge électrique q positive,

est lâché sans vitesse initiale au point O , à mi-distance entre les plaques. Une caméra enregistre sa chute : lorsqu'il est descendu de $H = 20,0$ cm, il s'est rapproché de la plaque négative d'une distance $\ell = 1,50$ cm. La poussée d'Archimède et les frottements de l'air sont d'abord négligés.



■ DONNÉES

- $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$; $1 \mu\text{g} = 1 \times 10^{-9} \text{ kg}$; charge élémentaire $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- Incertitudes-types sur les longueurs mesurées à la caméra : $u(\ell) = 0,05 \text{ cm}$ et $u(H) = 0,2 \text{ cm}$. On admet que l'incertitude-type sur la charge vérifie

$$u(q) = q \sqrt{\left(\frac{u(\ell)}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{u(H)}{H}\right)^2}.$$

- Masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; volume du grain : $V = 1,0 \times 10^{-12} \text{ m}^3$; poussée d'Archimède : $\Pi = \rho_{\text{air}} V g$.

Figure 1 — Le dispositif (schéma sans souci d'échelle)

- 2.1 Calculer la valeur du champ électrique $\vec{E}$ entre les plaques. Reproduire la figure 1, y représenter $\vec{E}$ et la force électrique subie par le grain, et justifier que le grain se déplace bien vers la plaque négative.
- 2.2 Faire le bilan des forces appliquées au grain, puis établir les coordonnées de son vecteur accélération dans le repère $(O; x, z)$.
- 2.3 Établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement du grain.
- 2.4 En éliminant le temps, montrer que la trajectoire du grain est une *droite* passant par O , d'équation $z = -\frac{mgd}{qU}x$. Justifier ce résultat en une phrase à partir des vecteurs $\vec{v}_0$ et $\vec{a}$.
- 2.5 En déduire l'expression de la charge q en fonction de m, g, d, U, ℓ et H , puis calculer sa valeur.
- 2.6 Déterminer le nombre d'électrons que le grain a perdus lors de son électrisation.
- 2.7 Calculer l'incertitude-type $u(q)$, puis écrire le résultat de la mesure sous la forme $q \pm u(q)$ avec un nombre adapté de chiffres significatifs.
- 2.8 Calculer la durée de la chute entre O et M , puis la valeur de la vitesse du grain en M .
- 2.9 Calculer la valeur de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur le grain et la comparer au poids. Était-il légitime de la négliger ? Indiquer, en une phrase, pourquoi le résultat obtenu pour q serait en revanche moins fiable si le grain était beaucoup plus petit.
- 2.10 L'expérience est recommencée avec la tension $U' = 3,00 \text{ kV}$, le grain portant la même charge. Sans reprendre tout le calcul, déterminer la distance ℓ' dont le grain se sera rapproché de la plaque négative après la même chute H , et vérifier qu'il n'a pas heurté la plaque. Quel intérêt présente cette seconde mesure ?
- 2.11 Un second grain, de même masse mais portant une charge *négative* de même valeur absolue, est lâché en O sans vitesse initiale. Décrire sa trajectoire et préciser en quel point il se trouve lorsqu'il est descendu de la hauteur H .
- 2.12 Les filtres électrostatiques équipant les salles blanches reposent sur ce principe. Expliquer en quelques lignes pourquoi un tel filtre est d'autant plus efficace que les grains sont fortement chargés, que la tension appliquée est grande et que l'air circule lentement entre les plaques.