BURHAN

Lois de Newton : exercices, entraînement

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Version en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/lois-de-newton/exercices/entrainement

Chapitre	Palier	Exercices
Lois de Newton	Entraînement	7

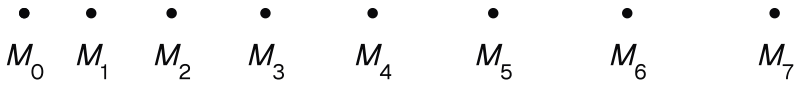
Exercice 1

Enregistrement d'un buggy radiocommandé au démarrage

Un buggy radiocommandé de masse $m = 1{,}8\,\text{kg}$ démarre en ligne droite sur une piste horizontale. Une caméra fixe le filme ; le pointage de son centre d'inertie donne les positions M_0 à M_7, séparées par la durée $\tau = 50{,}0\,\text{ms}$.

Une règle filmée le long de la piste fixe l'échelle : $1\,\text{cm}$ sur le document représente $10\,\text{cm}$ en réalité. Le tableau donne $x_i = M_0M_i$ mesuré sur le document.

Position	x_i (cm)
M_0	0
M_1	$0{,}50$
M_2	$1{,}10$
M_3	$1{,}80$
M_4	$2{,}60$
M_5	$3{,}50$
M_6	$4{,}50$
M_7	$5{,}60$



Positions successives du buggy au démarrage

1.

Expliquer le rôle de la règle filmée, puis calculer la distance réelle M_2M_4.

INDICE

Outil : l'échelle relie une longueur du document à la longueur réelle.

CORRIGÉ

Rôle de la règle. Elle donne une longueur connue dans le plan du mouvement : elle permet de convertir les distances du document en distances réelles.

Distance. Sur le document, $M_2M_4 = x_4 - x_2 = 2{,}60 - 1{,}10 = 1{,}50\,\text{cm}$. En réalité, $M_2M_4 = 10 \times 1{,}50 = 15{,}0\,\text{cm}$.

Conclusion. La règle fixe l'échelle du document, et la distance réelle M_2M_4 vaut $0{,}150\,\text{m}$.

2.

Calculer les vitesses v_3 et v_5 du centre d'inertie aux positions M_3 et M_5.

INDICE

Outil : $v_i \approx \dfrac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$, avec $2\tau = 0{,}100\,\text{s}$.

CORRIGÉ

Position M_3.

$$\begin{aligned} v_3 &\approx \frac{M_2M_4}{2\tau} \\ v_3 &\approx \frac{0{,}150\,\text{m}}{0{,}100\,\text{s}} \\ v_3 &\approx 1{,}50\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Position M_5. Sur le document, $M_4M_6 = 4{,}50 - 2{,}60 = 1{,}90\,\text{cm}$, soit $0{,}190\,\text{m}$ en réalité :

$$\begin{aligned} v_5 &\approx \frac{0{,}190\,\text{m}}{0{,}100\,\text{s}} \\ v_5 &\approx 1{,}90\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Conclusion. Le centre d'inertie passe de $1{,}50\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en M_3 à $1{,}90\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en M_5.

3.

Un élève calcule la vitesse en M_3 par $\dfrac{M_3M_4}{\tau}$. Calculer sa valeur et expliquer pourquoi la méthode de la question 2 est préférable.

INDICE

Point délicat : la vitesse moyenne sur un intervalle approche la vitesse au milieu de cet intervalle.

CORRIGÉ

Valeur. $M_3M_4 = 2{,}60 - 1{,}80 = 0{,}80\,\text{cm}$ sur le document, soit $0{,}080\,\text{m}$. L'élève obtient $\dfrac{0{,}080\,\text{m}}{0{,}0500\,\text{s}} = 1{,}6\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Explication. C'est la vitesse moyenne entre t_3 et t_4 : elle approche la vitesse au milieu de cet intervalle, et non en t_3. Le buggy accélère, d'où une valeur trop grande.

Conclusion. L'intervalle de t_2 à t_4 est centré sur t_3 : la méthode de la question 2 donne une meilleure valeur de v_3.

4.

Construire en M_4 le vecteur $\Delta\vec{v}_4 = \vec{v}_5 - \vec{v}_3$ et calculer l'accélération a_4.

INDICE

Outil : $\vec{a}_4 \approx \dfrac{\Delta\vec{v}_4}{2\tau}$. **Point délicat :** $\vec{v}_3$ et $\vec{v}_5$ ont la même direction, celle de la trajectoire.

CORRIGÉ

Construction. Les deux vitesses sont portées par la trajectoire, dans le sens du mouvement. $\Delta\vec{v}_4$ est donc porté par la trajectoire, dans le sens du mouvement, de valeur $\Delta v_4 = 1{,}90 - 1{,}50 = 0{,}40\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Accélération.

$$\begin{aligned} a_4 &\approx \frac{\Delta v_4}{2\tau} \\ a_4 &\approx \frac{0{,}40\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}}{0{,}100\,\mathrm{s}} \\ a_4 &\approx 4{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}} \end{aligned}$$

Conclusion. En M_4, l'accélération a le sens du mouvement et vaut environ $4{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

5.

On calcule de même $a_3 \approx 4{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$. Préciser la nature du mouvement.

INDICE

Outil : la trajectoire, le sens de $\vec{a}$ par rapport à $\vec{v}$, et la constance de $\vec{a}$.

CORRIGÉ

Trajectoire. Les positions sont alignées : le mouvement est rectiligne.

Vitesse. $\vec{a}$ a le sens de $\vec{v}$, donc $\vec{a}\cdot\vec{v} > 0$: la valeur de la vitesse augmente.

Conclusion. L'accélération garde la même valeur, la même direction et le même sens : le mouvement est rectiligne, accéléré, d'accélération constante.

6.

En appliquant la deuxième loi de Newton au buggy, calculer la valeur de la somme des forces extérieures qui s'exercent sur lui.

INDICE

Outil : système, référentiel terrestre supposé galiléen, puis $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}_G$.

CORRIGÉ

Loi. Le système est le buggy, dans le référentiel terrestre supposé galiléen : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}_G$.

Application numérique. $\sum F = 1{,}8\,\mathrm{kg} \times 4{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}} \approx 7{,}2\,\mathrm{N}$.

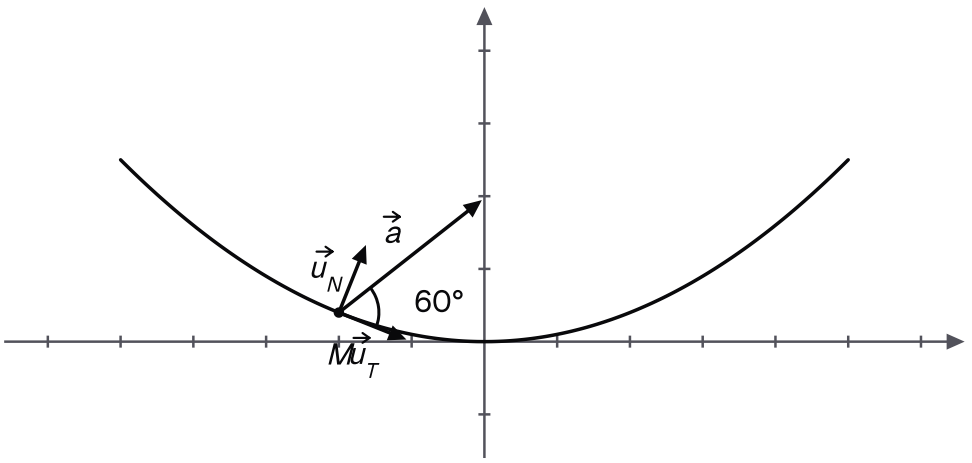
Conclusion. La somme des forces extérieures vaut environ $7{,}2\,\mathrm{N}$; elle est horizontale, dans le sens du mouvement.

Exercice 2

Base de Frenet : un motard dans une courbe

Un motard aborde une courbe sur une route horizontale en accélérant. À l'instant étudié, son centre d'inertie M a une vitesse de valeur $v = 12\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Son vecteur accélération a pour valeur $a = 5{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ et fait un angle $\alpha = 60^\circ$ avec $\vec{u}_T$, du côté de $\vec{u}_N$. Le document représente la base de Frenet $(M;\vec{u}_T,\vec{u}_N)$ et $\vec{a}$, sans échelle.



Base de Frenet et accélération du motard

1.

Calculer les coordonnées a_T et a_N de l'accélération dans la base de Frenet.

INDICE

Outil : projette $\vec{a}$ sur $\vec{u}_T$ et sur $\vec{u}_N$: $a_T = a\cos\alpha$ et $a_N = a\sin\alpha$.

CORRIGÉ

Coordonnée tangentielle. $a_T = a\cos\alpha = 5{,}0 \times \cos 60^\circ = 2{,}5\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Coordonnée normale. $a_N = a\sin\alpha = 5{,}0 \times \sin 60^\circ \approx 4{,}3\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Conclusion. Dans la base de Frenet, l'accélération a pour coordonnées $a_T = 2{,}5\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ et $a_N \approx 4{,}3\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

2.

En déduire comment varie la valeur de la vitesse du motard à cet instant.

INDICE

Outil : dans la base de Frenet, $a_T = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$.

CORRIGÉ

Signe. $a_T = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} \approx 2{,}5\,\mathrm{m\cdot s^{-2}} > 0$.

Conclusion. La vitesse du motard croît : son mouvement est accéléré, comme l'annonce l'énoncé. On le retrouve par $\vec{a}\cdot\vec{v} = v\,a_T > 0$.

3.

Calculer le rayon de courbure ρ de la trajectoire au point M.

INDICE

Outil : $a_N = \dfrac{v^2}{\rho}$, donc $\rho = \dfrac{v^2}{a_N}$. **Point délicat :** garde a_N non arrondi.

CORRIGÉ

Expression. $\rho = \dfrac{v^2}{a_N}$, avec $a_N \approx 4{,}33\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$ non arrondi.

Application numérique.

$$\rho = \frac{12^2}{4{,}33}$$
$$\rho \approx 33\,\mathrm{m}$$

Conclusion. Au point M, le rayon de courbure de la trajectoire vaut environ $33\,\mathrm{m}$.

4.

Le motard reprend la même courbe en gardant une vitesse de valeur constante $v = 12\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. Que deviennent l'angle α et la valeur de l'accélération en M ?

INDICE

Outil : une vitesse de valeur constante donne $a_T = 0$; a_N ne dépend que de v et de ρ.

CORRIGÉ

Coordonnées. $a_T = 0$, et $a_N = \dfrac{v^2}{\rho}$ garde la même valeur, environ $4{,}3\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Conclusion. $\vec{a}$ est porté par $\vec{u}_N$: l'angle α vaut 90°, et $a = a_N \approx 4{,}3\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Exercice 3

Virage horizontal : accélération centripète et force latérale

Une voiture parcourt un virage circulaire sur une route horizontale, à vitesse de valeur constante. On l'étudie dans le référentiel terrestre, supposé galiléen. Dans la direction du mouvement, la force motrice compense les frottements ; on prend $g = 9{,}80\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Document. Données du virage.

Grandeur	Valeur
masse de la voiture	$m = 1{,}3 \times 10^{3}\,\mathrm{kg}$
rayon du virage	$R = 75\,\mathrm{m}$
vitesse de la voiture	$54\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$
force latérale maximale, route sèche	$9{,}1\,\mathrm{kN}$

1.

Convertir la vitesse en $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$, puis donner la direction, le sens et la valeur de l'accélération du centre d'inertie.

INDICE

Début : $1\,\mathrm{km\cdot h^{-1}} = \dfrac{1}{3{,}6}\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$. **Outil :** le mouvement est circulaire uniforme.

CORRIGÉ

Vitesse. $v = \dfrac{54}{3{,}6} = 15\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Accélération. Le mouvement est circulaire uniforme : $\vec{a}_G$ est centripète, dirigée vers le centre du virage, de valeur

$$a_G = \frac{v^2}{R} = \frac{15^2}{75}$$
$$a_G \approx 3{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$$

Conclusion. La voiture roule à $15\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$; son accélération, dirigée vers le centre du virage, vaut environ $3{,}0\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

2.

La route exerce sur la voiture une force verticale $\vec{R}_N$ et une force latérale horizontale $\vec{F}_L$. En appliquant la deuxième loi de Newton, calculer leurs valeurs.

INDICE

Outil : projette la deuxième loi sur la verticale, puis sur la normale à la trajectoire, orientée vers le centre.

CORRIGÉ

Loi. Système : la voiture, référentiel terrestre supposé galiléen. Dans la direction du mouvement, les forces se compensent ; il reste $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{F}_L = m\,\vec{a}_G$.

Verticale. $a_z = 0$: $R_N = mg = 1{,}3 \times 10^3 \times 9{,}80 \approx 1{,}3 \times 10^4\ \mathrm{N}$.

Normale. $F_L = m\,a_G = 1{,}3 \times 10^3 \times 3{,}0 \approx 3{,}9 \times 10^3\ \mathrm{N}$.

Conclusion. La route exerce une réaction verticale d'environ $1{,}3 \times 10^4\ \mathrm{N}$ et une force latérale d'environ $3{,}9 \times 10^3\ \mathrm{N}$, dirigée vers le centre du virage.

3.

La route sèche ne peut pas exercer une force latérale supérieure à la valeur du document. Montrer que la vitesse maximale dans ce virage vaut environ $82\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$.

INDICE

Début : à la vitesse maximale, $F_L = m\dfrac{v^2}{R}$ atteint sa valeur limite. **Ensuite :** isole v.

CORRIGÉ

Vitesse limite. $m\dfrac{v_{\max}^2}{R} = F_{\max}$, donc

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{F_{\max}\,R}{m}}$$

Application numérique. $\dfrac{F_{\max}\,R}{m} = \dfrac{9{,}1 \times 10^3 \times 75}{1{,}3 \times 10^3} = 525\,\mathrm{m^2\cdot s^{-2}}$, d'où

$$v_{\max} = \sqrt{525}$$
$$v_{\max} \approx 22{,}9\,\mathrm{m\cdot s^{-1}}$$

Conversion. $22{,}9 \times 3{,}6 \approx 82\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$.

Conclusion. Sur route sèche, la voiture ne peut pas dépasser environ $82\,\mathrm{km\cdot h^{-1}}$ dans ce virage.

4.

Sur une route verglacée, la force latérale maximale est beaucoup plus petite. Expliquer pourquoi le conducteur doit alors ralentir avant le virage.

INDICE

Outil : la force latérale nécessaire vaut $m\dfrac{v^2}{R}$: elle augmente avec v.

CORRIGÉ

Force nécessaire. Pour tourner sur ce rayon, la route doit fournir $F_L = m\dfrac{v^2}{R}$.

Vitesse maximale. Si la force maximale diminue, la vitesse maximale $\sqrt{\dfrac{F_{\max}\,R}{m}}$ diminue aussi.

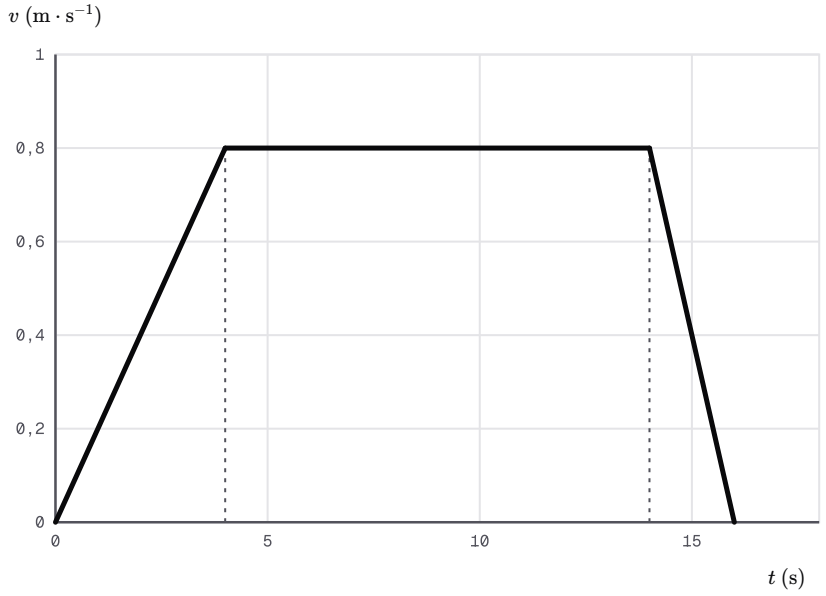
Conclusion. Au-delà de cette vitesse, la route ne peut plus fournir l'accélération centripète et la voiture ne suit plus le virage : le conducteur doit ralentir avant.

Exercice 4

Tension du câble d'une grue en trois phases

Une grue de chantier soulève verticalement une palette de parpaings de masse $m = 1{,}50 \times 10^{3}\,\text{kg}$, accrochée à son câble. Le document donne la valeur v de la vitesse de la palette en fonction du temps.

On étudie la palette dans le référentiel terrestre, supposé galiléen, sur un axe vertical orienté vers le haut. On néglige l'action de l'air ; on prend $g = 9{,}80\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.



Vitesse de la palette levée par la grue

1.

Déterminer l'accélération a_z de la palette dans chacune des trois phases.

INDICE

Outil : sur chaque portion rectiligne, $a_z = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$; la vitesse est orientée vers le haut.

CORRIGÉ

Phase 1, de 0 à $4{,}0\,\text{s}$. $a_1 = \dfrac{0{,}80 - 0}{4{,}0} \approx 0{,}20\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Phase 2, de $4{,}0$ à $14\,\text{s}$. La vitesse est constante : $a_2 = 0$.

Phase 3, de 14 à $16\,\text{s}$. $a_3 = \dfrac{0 - 0{,}80}{2{,}0} \approx -0{,}40\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Conclusion. Les accélérations valent environ $0{,}20\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, puis 0, puis $-0{,}40\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, valeurs lues sur le graphe.

2.

Faire le bilan des forces exercées sur la palette et montrer que la valeur de la tension du câble s'écrit $T = m\,(g + a_z)$.

INDICE

Outil : la deuxième loi de Newton projetée sur l'axe vertical orienté vers le haut.

CORRIGÉ

Bilan. Le poids $\vec{P}$, vertical vers le bas, et la tension $\vec{T}$ du câble, verticale vers le haut.

Loi. $\vec{P} + \vec{T} = m\,\vec{a}_G$. En projection sur l'axe vertical orienté vers le haut, $T - mg = m\,a_z$, donc

$$T = m\,(g + a_z)$$

Conclusion. La tension du câble vaut $m\,(g + a_z)$ dans chaque phase.

3.

Calculer la tension du câble dans chacune des trois phases.

INDICE

Outil : remplace a_z par sa valeur dans $T = m\,(g + a_z)$.

CORRIGÉ

Phase 1. $T_1 = 1{,}50 \times 10^3 \times (9{,}80 + 0{,}20) \approx 1{,}50 \times 10^4\ \text{N}$.

Phase 2. $T_2 = 1{,}50 \times 10^3 \times 9{,}80 \approx 1{,}47 \times 10^4\ \text{N}$.

Phase 3. $T_3 = 1{,}50 \times 10^3 \times (9{,}80 - 0{,}40) \approx 1{,}41 \times 10^4\ \text{N}$.

Conclusion. La tension dépasse le poids pendant la mise en vitesse, l'égale pendant la montée à vitesse constante et lui est inférieure pendant l'arrêt.

4.

Préciser, par le signe de $\vec{a} \cdot \vec{v}$, la nature du mouvement dans chaque phase.

INDICE

Outil : $\vec{v}$ est vers le haut ; compare le sens de $\vec{a}$ à celui de $\vec{v}$.

CORRIGÉ

Phase 1. $a_z > 0$ et $v_z > 0$: $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$.

Phase 2. $\vec{a} = \vec{0}$: $\vec{a} \cdot \vec{v} = 0$ à chaque instant.

Phase 3. $a_z < 0$ et $v_z > 0$: $\vec{a} \cdot \vec{v} < 0$.

Conclusion. Le mouvement est rectiligne accéléré, puis rectiligne uniforme, puis rectiligne retardé.

5.

Sur le chantier, comment obtenir expérimentalement la courbe $v(t)$ du document ? Décrire la mesure, puis son exploitation.

INDICE

Outil : pense à l'enregistrement d'un mouvement et au calcul d'une vitesse instantanée sur un intervalle centré.

CORRIGÉ

Mesure. On filme la palette avec une caméra fixe, en plaçant dans le plan du mouvement une mire verticale de longueur connue, qui fixe l'échelle.

Exploitation. On pointe la position de la palette image par image, à intervalle τ constant, puis on calcule $v_i \approx \dfrac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$ avec les distances réelles.

Conclusion. Les vitesses v_i, portées en fonction des instants t_i, donnent la courbe $v(t)$ point par point.

Exercice 5

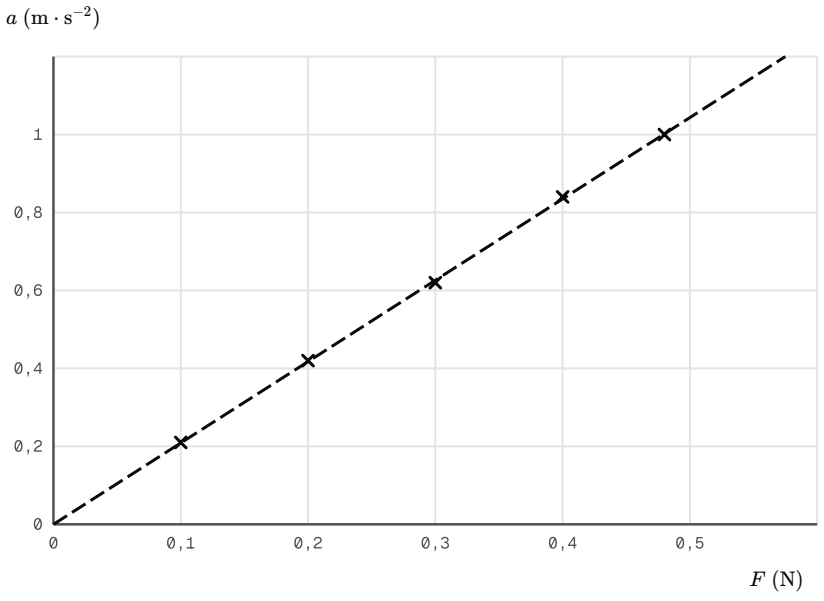
Vérifier la deuxième loi sur un rail à coussin d'air

Sur un rail à coussin d'air horizontal, un chariot de masse $m = 0{,}480\,\text{kg}$, mesurée à la balance, est tiré par un fil horizontal. Un capteur de force mesure la valeur F de la tension du fil, constante pendant chaque lancer.

Pour chaque valeur de F, l'enregistrement du mouvement donne l'accélération a du chariot, avec deux chiffres significatifs.

F (N)	a ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)
$0{,}10$	$0{,}21$
$0{,}20$	$0{,}42$
$0{,}30$	$0{,}62$
$0{,}40$	$0{,}84$
$0{,}48$	$1{,}0$

Un logiciel de modélisation propose la droite $a = k\,F$, avec $k \approx 2{,}1\,\text{kg}^{-1}$.



Accélération du chariot en fonction de la force

1.

Pourquoi utilise-t-on un rail à coussin d'air horizontal pour cette vérification ?

INDICE

Outil : pense aux forces qui s'exercent sur le chariot, en plus de la tension du fil.

CORRIGÉ

Coussin d'air. Le chariot glisse sur une mince couche d'air : les frottements sont très faibles et peuvent être négligés.

Rail horizontal. Le poids et la réaction du rail sont verticaux et se compensent.

Conclusion. Avec ce montage, la seule force horizontale est la tension du fil, mesurée par le capteur.

2.

Appliquer la deuxième loi de Newton au chariot et montrer que la théorie prévoit $a = \dfrac{F}{m}$.

INDICE

Outil : projette la deuxième loi sur l'axe horizontal orienté dans le sens du mouvement.

CORRIGÉ

Loi. Système : le chariot ; référentiel terrestre supposé galiléen. Forces : poids $\vec{P}$, réaction $\vec{R}$ du rail, tension $\vec{F}$ du fil. Donc $\vec{P} + \vec{R} + \vec{F} = m\,\vec{a}_G$.

Projection. $\vec{P}$ et $\vec{R}$ n'ont pas de coordonnée horizontale : $F = m\,a$, soit

$$a = \frac{F}{m}$$

Conclusion. La théorie prévoit une droite passant par l'origine, de coefficient $\dfrac{1}{m}$.

3.

Les mesures sont-elles en accord avec cette prévision ? En déduire la masse du chariot tirée du coefficient k.

INDICE

Outil : compare la forme de la droite de modélisation à celle de la prévision, puis identifie k à $\dfrac{1}{m}$.

CORRIGÉ

Forme. Les points sont proches d'une droite qui passe par l'origine : l'accélération est proportionnelle à la force, comme prévu.

Masse. $k = \dfrac{1}{m}$, donc

$$m' = \frac{1}{k} = \frac{1}{2{,}1\ \mathrm{kg^{-1}}}$$
$$m' \approx 0{,}48\ \mathrm{kg}$$

Conclusion. Les mesures suivent la prévision, et le coefficient donne une masse d'environ $0{,}48\ \mathrm{kg}$, avec deux chiffres significatifs comme les accélérations.

4.

Comparer cette masse à la masse mesurée à la balance. Conclure.

INDICE

Outil : compare les deux valeurs au nombre de chiffres significatifs des mesures.

CORRIGÉ

Comparaison. À deux chiffres significatifs, $m' \approx 0{,}48\,\mathrm{kg}$ et $m = 0{,}480\,\mathrm{kg}$ coïncident : leur écart relatif est inférieur à 1 pour cent.

Conclusion. m' et m sont égales à la précision des mesures : l'expérience est en accord avec la deuxième loi de Newton.

5.

Citer deux sources d'écart possibles entre l'expérience et la prévision.

INDICE

Outil : passe en revue le montage, puis les mesures.

CORRIGÉ

Montage. Des frottements résiduels sur le rail, ou un fil qui n'est pas exactement horizontal : la force horizontale n'est alors plus exactement F.

Mesures. L'incertitude du capteur de force, et celle du pointage des positions qui sert à calculer l'accélération.

Conclusion. Les écarts viennent du montage, qui s'éloigne du modèle, et de la précision limitée des mesures.

Exercice 6

Deux wagonnets poussés sur un rail : force de contact

Dans une mine, un mineur pousse horizontalement le wagonnet A, qui pousse à son tour le wagonnet B, placé devant lui. Les deux wagonnets restent en contact sur un rail rectiligne et horizontal.

On néglige les frottements ; le référentiel terrestre est supposé galiléen.

Document. Données du convoi.

Grandeur	Valeur
masse du wagonnet A, poussé par le mineur	$m_A = 300\,\text{kg}$
masse du wagonnet B, devant	$m_B = 500\,\text{kg}$
force horizontale du mineur sur A	$F = 4{,}0 \times 10^{2}\,\text{N}$

1.

En prenant pour système l'ensemble des deux wagonnets, montrer que leur accélération vaut $a = 0{,}50\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

INDICE

Point délicat : les forces de contact entre A et B sont intérieures à ce système : elles ne comptent pas.

CORRIGÉ

Bilan. Forces extérieures : les poids et les réactions du rail, verticaux et qui se compensent, et la force $\vec{F}$ du mineur.

Loi. Sur l'axe horizontal orienté dans le sens du mouvement, $F = (m_A + m_B)\,a$, donc

$$a = \frac{F}{m_A + m_B}$$

Application numérique.

$$a = \frac{4{,}0 \times 10^{2}}{800}$$
$$a \approx 0{,}50\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Conclusion. Les deux wagonnets ont une accélération d'environ $0{,}50\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

2.

En prenant pour système le wagonnet B seul, calculer la valeur de la force $\vec{F}_{A/B}$ exercée par A sur B.

INDICE

Outil : la seule force horizontale qui s'exerce sur B est $\vec{F}_{A/B}$.

CORRIGÉ

Loi. Sur B : poids et réaction se compensent ; il reste $\vec{F}_{A/B} = m_B\,\vec{a}$.

Application numérique. $F_{A/B} = m_B\,a = 500 \times 0{,}50 \approx 2{,}5 \times 10^{2}\,\text{N}$.

Conclusion. Le wagonnet A pousse B vers l'avant avec une force d'environ $2{,}5 \times 10^{2}\,\text{N}$.

3.

Donner la direction, le sens et la valeur de la force $\vec{F}_{B/A}$ exercée par B sur A.

INDICE

Outil : la troisième loi de Newton.

CORRIGÉ

Troisième loi. $\vec{F}_{B/A} = -\vec{F}_{A/B}$: même droite d'action, horizontale, et sens opposé.

Conclusion. B exerce sur A une force horizontale, vers l'arrière, d'environ $2{,}5 \times 10^{2}\,\text{N}$.

4.

Vérifier ce résultat en appliquant la deuxième loi de Newton au wagonnet A seul.

INDICE

Outil : sur A s'exercent, horizontalement, $\vec{F}$ vers l'avant et $\vec{F}_{B/A}$ vers l'arrière.

CORRIGÉ

Loi. Sur l'axe du mouvement : $F - F_{B/A} = m_A\,a$.

Contrôle. $F - F_{B/A} = 4{,}0 \times 10^{2} - 2{,}5 \times 10^{2} = 150\,\text{N}$, et $m_A\,a = 300 \times 0{,}50 = 150\,\text{N}$.

Conclusion. Les deux membres sont égaux : la valeur de $F_{B/A}$ est cohérente avec la deuxième loi appliquée à A.

5.

Le mineur pousse désormais B, qui pousse A placé devant lui, avec la même force. Montrer que la force de contact entre les wagonnets change de valeur.

INDICE

Ensuite : l'accélération ne change pas ; le wagonnet de devant est maintenant A.

CORRIGÉ

Accélération. Le système global est le même : $a \approx 0{,}50\,\mathrm{m\cdot s^{-2}}$.

Force de contact. C'est maintenant A qui est poussé : $F_{B/A} = m_A\,a = 300 \times 0{,}50 \approx 1{,}5 \times 10^{2}\,\mathrm{N}$, au lieu de $2{,}5 \times 10^{2}\,\mathrm{N}$.

Conclusion. La force de contact change : elle dépend de la masse du wagonnet qu'elle met en mouvement.

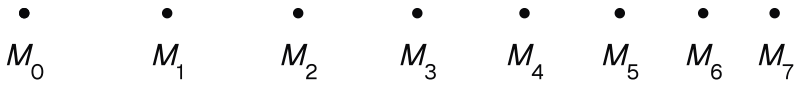
Exercice 7

Palet de table freiné : de l'enregistrement à la force de frottement

Sur une table de jeu horizontale, on lance un palet de masse $m = 0{,}350\,\text{kg}$. Une vidéo, pointée image par image, donne les positions M_0 à M_7 de son centre d'inertie, séparées par $\tau = 80{,}0\,\text{ms}$; $1\,\text{cm}$ sur le document représente $8\,\text{cm}$ en réalité.

La table exerce sur le palet une réaction verticale $\vec{R}_N$ et une force de frottement $\vec{f}$, opposée au mouvement. On prend $g = 9{,}80\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Position	x_i (cm)
M_0	0
M_1	$1{,}44$
M_2	$2{,}76$
M_3	$3{,}96$
M_4	$5{,}04$
M_5	$6{,}00$
M_6	$6{,}84$
M_7	$7{,}56$



Positions successives du palet freiné

1.

Calculer les vitesses v_2 et v_4 du centre d'inertie du palet.

INDICE

Outil : $v_i \approx \dfrac{M_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$, avec $2\tau = 0{,}160\,\text{s}$. **Point délicat :** multiplie les distances du document par 8.

CORRIGÉ

Position M_2. $M_1M_3 = 3{,}96 - 1{,}44 = 2{,}52\,\text{cm}$ sur le document, soit $8 \times 2{,}52 = 20{,}16\,\text{cm}$ en réalité :

$$v_2 \approx \frac{0{,}2016\,\text{m}}{0{,}160\,\text{s}}$$
$$v_2 \approx 1{,}26\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Position M_4. $M_3M_5 = 6{,}00 - 3{,}96 = 2{,}04\,\text{cm}$, soit $16{,}32\,\text{cm}$ en réalité :

$$v_4 \approx \frac{0{,}1632\,\text{m}}{0{,}160\,\text{s}}$$
$$v_4 \approx 1{,}02\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Conclusion. Le palet passe de $1{,}26\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en M_2 à $1{,}02\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en M_4.

2.

Calculer l'accélération du palet à la position M_3 ; préciser son sens et la nature du mouvement.

INDICE

Outil : $a_3 \approx \dfrac{v_4 - v_2}{2\tau}$, sur l'axe orienté dans le sens du mouvement.

CORRIGÉ

Accélération. La différence $1{,}02 - 1{,}26 = -0{,}24\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ n'a que deux chiffres significatifs :

$$a_3 \approx \frac{v_4 - v_2}{2\tau}$$
$$a_3 \approx \frac{1{,}02 - 1{,}26}{0{,}160}$$
$$a_3 \approx -1{,}5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

Sens. $\vec{a}$ est opposé au mouvement : $\vec{a}\cdot\vec{v} < 0$.

Conclusion. L'accélération vaut environ $1{,}5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, opposée au mouvement : le mouvement est rectiligne retardé.

3.

Appliquer la deuxième loi de Newton au palet pour calculer la valeur f de la force de frottement et celle de $\vec{R}_N$.

INDICE

Outil : projette la deuxième loi sur l'axe du mouvement, puis sur la verticale.

CORRIGÉ

Loi. Système : le palet ; référentiel terrestre supposé galiléen. $\vec{P} + \vec{R}_N + \vec{f} = m\,\vec{a}_G$.

Axe du mouvement. $-f = m\,a_3$, donc $f = 0{,}350 \times 1{,}5 \approx 0{,}53\,\text{N}$.

Verticale. $R_N - P = 0$, donc $R_N = mg = 0{,}350 \times 9{,}80 \approx 3{,}43\,\text{N}$.

Conclusion. La table exerce un frottement d'environ $0{,}53\,\text{N}$ et une réaction verticale d'environ $3{,}43\,\text{N}$.

4.

Comment vérifier, à partir du même enregistrement, que la force de frottement garde la même valeur pendant le mouvement ? Faire la vérification en M_4.

INDICE

Début : une force constante donne une accélération constante. **Ensuite :** calcule v_3, v_5, puis a_4.

CORRIGÉ

Méthode. D'après la deuxième loi, un frottement constant donne une accélération constante : il suffit de calculer l'accélération en une autre position.

Vitesse v_3. $M_2M_4 = 5{,}04 - 2{,}76 = 2{,}28\,\text{cm}$ sur le document, soit $0{,}1824\,\text{m}$ en réalité : $v_3 \approx \dfrac{0{,}1824\,\text{m}}{0{,}160\,\text{s}} \approx 1{,}14\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Vitesse v_5. $M_4M_6 = 6{,}84 - 5{,}04 = 1{,}80\,\text{cm}$, soit $0{,}1440\,\text{m}$: $v_5 \approx \dfrac{0{,}1440\,\text{m}}{0{,}160\,\text{s}} \approx 0{,}900\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Accélération. $a_4 \approx \dfrac{0{,}900 - 1{,}14}{0{,}160} \approx -1{,}5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Conclusion. L'accélération a la même valeur en M_3 et en M_4 : le frottement est constant.