

Mouvement

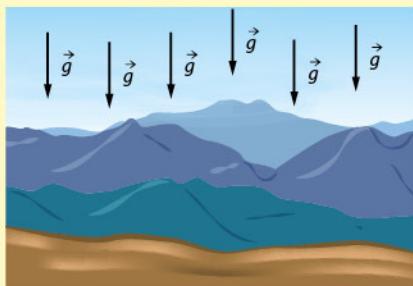
Avant d'aborder le chapitre

EN AUTONOMIE

LES ACQUIS INDISPENSABLES

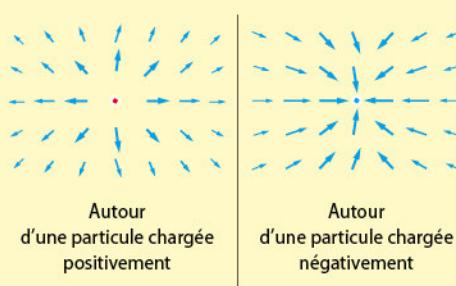
- Le vecteur champ de pesanteur peut se définir comme le vecteur poids d'un objet divisé par sa masse :

$$\text{champ de pesanteur} \rightarrow \vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$



- L'influence d'une particule chargée se traduit par l'existence d'un champ électrostatique.

$$\text{champ électrostatique} \rightarrow \vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{elec}}}{q}$$



- L'énergie mécanique d'un système est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle.

$$\text{énergie mécanique (en J)} \rightarrow E_m = E_c + E_p$$

énergie cinétique (en J)

énergie potentielle (en J)

- En l'absence de forces non-conservatives, il y a conservation d'énergie mécanique. En leur présence, ΔE_m se définit ainsi :

$$\Delta E_m = \sum W_{AB} (\vec{F} \text{ non conservatives})$$

variation d'énergie mécanique (en J)

somme des travaux des forces non conservatives (en J)

POUR VÉRIFIER LES ACQUIS

Pour chaque situation, rédiger une réponse qui explique en quelques lignes le raisonnement.



SITUATION 1

Vérifier ce message préventif :

- à l'aide de la conservation de l'énergie mécanique ;
- en exploitant le théorème de l'énergie cinétique.

Données : intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, hauteur moyenne d'un étage 3,0 m.

SITUATION 2

Un noyau d'hélium He^{2+} pénètre dans une région de l'espace caractérisée par un champ de pesanteur \vec{g} et un champ électrique \vec{E} .

Données : $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $E = 100 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, $m_{\text{He}} = 6,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

- Existe-t-il une action mécanique exercée sur le noyau d'hélium qui prédomine ?
- Même question dans le cas d'un atome d'hélium.



dans un champ uniforme

12

PHYSIQUE



NOTIONS ET CONTENUS

- Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme. Champ électrique créé par un condensateur plan.
- Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme.
- Principe de l'accélérateur de particules chargées. Aspects énergétiques.

CAPACITÉS EXPÉIMENTALES

- Utiliser un dispositif pour étudier l'évolution des vecteurs position et vitesse, des énergies cinétique, potentielle et mécanique d'un système. ↗ **Activité 4**

CAPACITÉS MATHÉMATIQUES

- Résoudre une équation différentielle ; déterminer la primitive d'une fonction, utiliser la représentation paramétrique d'une courbe. ↗ **Activités 2 et 3**

1. ACTIVITÉ DOCUMENTAIRE

COMPÉTENCES :

- (APP) Extraire l'information utile de supports variés
(COM) Faire des prévisions à l'aide d'un outil mathématique

Un accélérateur linéaire

Comment les particules acquièrent-elles de très hautes énergies dans les accélérateurs ?

DOC 1 Un accélérateur de particule au Louvre



La composition chimique de la matière qui compose des objets d'art ou d'archéologie permet d'identifier un matériau, son origine ou son authenticité, et de prévoir une éventuelle restauration. Le laboratoire des musées de France dispose de plusieurs techniques d'analyse, dont certaines font appel

à des équipements de pointe comme le nouvel Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire (New AGLAE) situé dans les sous-sols du musée du Louvre mis en service en 2017.

Cet appareil est un accélérateur linéaire électrostatique de type tandem de 2 MV. Il produit un faisceau d'ions monoatomiques qui est envoyé sur l'objet à étudier. Celui-ci émet des particules en retour : celles-ci sont analysées et les chercheurs en déduisent la nature des éléments chimiques se trouvant à la surface de l'objet. Les avantages de cette technique sont sa rapidité et son caractère non destructif vis-à-vis des œuvres.

DOC 3 Energies d'une particule chargée

Dans un champ électrique uniforme \vec{E} , une particule de charge q possède essentiellement une énergie cinétique E_c liée au mouvement et une énergie potentielle électrique $E_{p(\text{elec})}$ liée à sa position.

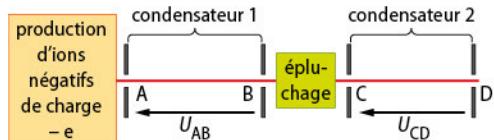
$$E_{p(\text{elec})} = q \cdot V$$

charge électrique (en C)

potentiel électrique (en V)

DOC 2 Accélérateur de type tandem

Le principe de fonctionnement d'un accélérateur de type tandem est représenté ci-dessous. Ce dispositif contient deux condensateurs plans.



On utilise par exemple, des atomes d'hydrogène H ($Z = 1$), qui sont transformés en ions négatifs de charge $q = -e$ puis qui pénètrent dans le premier condensateur plan. Entre les deux armatures A et B du condensateur règne un champ électrique \vec{E} qui est uniforme et perpendiculaire aux armatures. Ce champ est créé par la tension $U_{AB} = -2,0$ MV égale à la différence de potentiel électrique $V_A - V_B$ entre les deux armatures A et B du premier condensateur. Au centre du dispositif, entre B et C, les ions sont ensuite « épulchés » pour devenir des ions positifs de charge $q = e$, qui sont soumis à une nouvelle tension $U_{CD} = 2,0$ MV dans le second condensateur plan.

VOCABULAIRE

- **Condensateur plan** : dispositif formé de deux armatures conductrices, planes et parallèles, séparées par un isolant.
- **Potentiel électrique** : grandeur physique qui caractérise un état électrique (en volt).

EXPLOITATION ET ANALYSE

1 Quel est le type de champ qui agit sur les ions produits par l'accélérateur ? Quel autre champ est négligé ?

2 a. Quel type d'ion est accéléré entre les armatures A et B ? Quelle armature est chargée positivement ?

b. Discuter du signe de la tension U_{AB} .

c. Sur un schéma, représenter le vecteur champ électrique et le vecteur force responsable du mouvement des particules dans le premier condensateur.

3 On considère que l'ion entre en A sans vitesse initiale, le potentiel électrique V_A sera pris égal à 0 V.

Données : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$,
masse d'un atome d'hydrogène = $1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

a. Déterminer le potentiel électrique V_B puis calculer l'énergie potentielle électrique $E_{p(\text{elec})}$ d'un ion en B.

b. En supposant l'absence de force non conservative, appliquer le principe de conservation de l'énergie mécanique pour exprimer l'énergie cinétique de l'ion en B. Calculer sa vitesse en B.

4 a. Entre B et C, quelle(s) particule(s) élémentaire(s) l'éplucheur enlève-t-il de l'ion incident ?

b. Quelle est de C ou D l'armature chargée positivement ?

c. En supposant que la vitesse des ions ne varie pas entre B et C, déterminer la vitesse v_D .

SYNTHÈSE

- 5 a. Quel est le rôle des deux condensateurs plans successifs ? Quels transferts énergétiques ont eu lieu ?
- b. Justifier les deux termes d'accélérateur linéaire donnés à cet appareil.

2. ACTIVITÉ EXPÉRIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Utiliser un modèle

(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Mouvement d'un projectile

Les équations du mouvement d'une balle peuvent être étudiées à l'aide d'un logiciel afin de mesurer la valeur de l'intensité de la pesanteur.



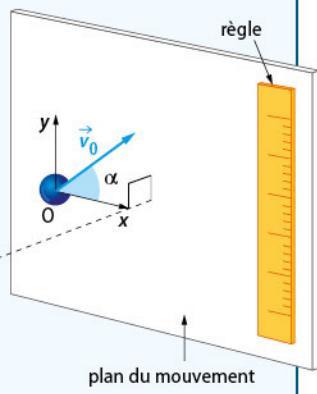
PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Le mouvement d'une balle de golf lancée à la main est filmé avec un dispositif comme une webcam ou bien un smartphone puis étudié à l'aide d'un logiciel de pointage et d'un tableur-grapheur.

- Lancer la balle avec une vitesse initiale v_0 faisant un angle α avec le plan horizontal.

Filmer son mouvement.

- Ouvrir le logiciel de pointage et réaliser le pointage de la vidéo.
- Utiliser le tableur-grapheur pour exploiter les coordonnées x, y et t .



Donnée : $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

EXPLOITATION ET ANALYSE

On étudie le mouvement du centre de masse G d'une balle de golf de masse m . Le mouvement est assimilé à celui d'une chute libre.

Réaliser l'acquisition puis le pointage de la vidéo obtenue.

1 Mouvement de la balle

a. Afficher les courbes $x(t)$ et $y(t)$ à l'aide du logiciel. Commenter l'allure des deux courbes obtenues.

b. À l'aide de l'outil dérivée du tableur, calculer les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$. Tracer $v_x(t)$ et $v_y(t)$.

Comment qualifier le mouvement horizontal de la balle ? Le mouvement vertical ?

2 1^{re} méthode pour déterminer l'intensité de la pesanteur

a. À l'aide du tableur, calculer les valeurs des coordonnées du vecteur accélération $\vec{a}(t)$. Tracer $a_x(t)$ et $a_y(t)$.

b. En déduire l'intensité de la pesanteur g_{mes} et l'incertitude-type associée $u(g_{\text{mes}})$ (**FICHE MÉTHODE** p. 538).

c. Comparer g_{mes} à la valeur de g_0 en utilisant le quotient $\frac{|g_{\text{mes}} - g_0|}{u(g_{\text{mes}})}$.

3 2^{re} méthode pour déterminer l'intensité de la pesanteur

On souhaite mesurer g directement à partir de la position de la balle.

DOC 1 Chute libre et accélération

Dans le cas d'une chute libre, la deuxième loi de Newton permet d'établir pour l'accélération du centre de masse G du projectile : $\vec{a}(t) = \vec{g}_0$

DOC 2 Équations horaires du mouvement

Les équations horaires sont les coordonnées des vecteurs position $\vec{OG}(t)$ et vitesse $\vec{v}(t)$, déterminables grâce aux équations différentielles :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ et } \vec{v}(t) = \frac{d\vec{OG}}{dt}.$$

La connaissance des conditions initiales permet de retenir, parmi une série de primitives, la seule primitive possible pour chaque coordonnée.

VOCABULAIRE

► **Équation différentielle** : équation dont les inconnues sont des fonctions.

► **Conditions initiales** : valeurs des grandeurs à $t = 0$ ici coordonnées des différents vecteurs à $t = 0$.

a. En résolvant deux équations différentielles, exprimer $v_x(t)$ et $v_y(t)$.

b. Selon la même procédure, en déduire que les coordonnées du vecteur position $\vec{OG}(t)$ s'écrivent :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2}g_0 \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t. \end{cases}$$

c. Afficher puis modéliser la courbe expérimentale $y(t)$ par une fonction adaptée. En déduire une deuxième mesure de l'intensité de la pesanteur.

SYNTHÈSE

4 a. Comparer les deux méthodes de détermination de l'intensité de la pesanteur.

b. Quel paramètre expérimental faudrait-il modifier pour diminuer l'incertitude-type ?

Je réussis si...

► Je sais acquérir et pointer une vidéo.

► Je sais déterminer puis exploiter les équations horaires du mouvement.

► Je sais modéliser une courbe.

► **MATHS** Je sais résoudre une équation différentielle et déterminer la primitive d'une fonction.

3. DÉMARCHE DIFFÉRENCIÉE

COMPÉTENCES :

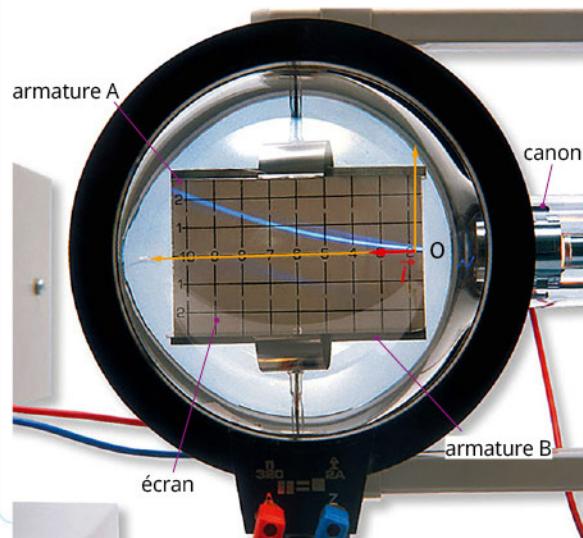
(REA) Utiliser un modèle

VAL Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Électron et charge élémentaire

La déviation d'un faisceau d'électrons par un champ électrique uniforme permet d'accéder au rapport de la charge élémentaire sur la masse de l'électron e/m.

DOC 1 Déviation des électrons au laboratoire par un tube cathodique



Au laboratoire de physique, le tube ci-contre est un tube de verre scellé contenant :

- un canon à électrons contenant un filament chauffé qui produit les électrons entrant au point O avec une vitesse initiale :

$$v_0 = 4,2 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- deux armatures métalliques A et B planes et conductrices qui dévient la trajectoire des électrons par la force électrique $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$. La tension U entre les deux armatures vaut 3,0 kV ;
 - un écran luminescent indiquant la présence d'électrons par une trace bleue ;
 - un gaz inerte ou du vide dans la cavité.

Ce type de dispositif est aussi présent dans les anciens téléviseurs et oscilloscopes.

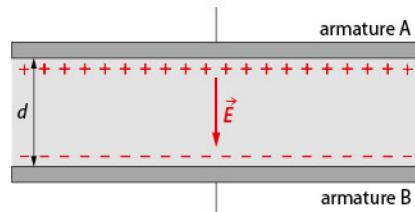
Une division de l'écran représente 1 cm en réalité.

DOC 2 Le condensateur plan

Le condensateur plan est formé de deux lames conductrices A et B parallèles et séparées par un isolant. Entre les lames A et B chargées règne un champ électrique uniforme \vec{E} de valeur donnée par la relation suivante :

$$E = \frac{U_{AB}}{d}$$

champ électrique (en $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$) → tension entre les deux armatures A et B (en V)
 distance entre les armatures (en m)



DÉMARCHE EXPERTE

Proposer une stratégie pour déterminer la valeur du rapport de la charge élémentaire sur la masse de l'électron : $\frac{e}{m}$.

DÉMARCHE AVANCÉE

- 1.** Établir les équations horaires du mouvement puis montrer que la trajectoire s'écrit $y(x) = \frac{eE}{2mv_0^2} \cdot x^2$.

2.a. À l'aide d'un logiciel de traitement d'image et du document 1, pointer, tracer puis modéliser la courbe expérimentale $y = f(x)$ (FICHE PRATIQUE → p. 586).

b. Par identification, en déduire le rapport $\frac{e}{m}$. Conclure en comparant aux valeurs théoriques.

Je réussis si...

- Je sais retrouver l'équation de la trajectoire.
 - Je sais tracer puis exploiter la courbe obtenue.
 - **MATHS** Je sais utiliser la représentation paramétrique d'une courbe.

DÉMARCHE ÉLÉMENTAIRE

- 1. a.** Représenter sur un schéma la force électrique qui modélise l'action mécanique subie par un électron.

b. En appliquant la deuxième loi de Newton, exprimer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ d'un système électron assimilé à un point matériel.

2. a. Sachant que $\overrightarrow{v(0)} = v_0 \cdot \vec{i}$, résoudre les équations différentielles $a_x(t) = \frac{dv_x}{dt}$ et $a_y(t) = \frac{dv_y}{dt}$ pour établir que $v_x(t) = v_0$ et $v_y(t) = \frac{eE}{m} \cdot t$.

b. De même, établir les expressions de $x(t)$ et $y(t)$.

c. En déduire l'équation de la trajectoire par élimination de la variable t : $y(x) = \frac{eE}{2mv_0^2} \cdot x^2$.

- 3. a.** Télécharger l'image ([doc. 1](#)) sur le site Bordas. À l'aide d'un logiciel de traitement d'image et d'un tableur-grapheur, pointer, tracer puis modéliser la courbe expérimentale $y = f(x)$ ([FICHES PRATIQUES](#) ➔ p. 564 et 586).

- b. Par identification, en déduire le rapport $\frac{e}{m}$.

4. ACTIVITÉ EXPÉIMENTALE

TP

COMPÉTENCES :

(RÉA) Utiliser un modèle

(VAL) Confronter un modèle à des résultats expérimentaux

Chute d'une bille dans un liquide

Comment le pointage d'une chute peut-il renseigner sur une force de frottement ?

PROTOCOLE EXPÉIMENTAL

- Remplir une éprouvette d'huile.
- Déclencher une acquisition vidéo.
- Lâcher la bille de masse m sans vitesse initiale depuis la surface.
- Filmer la chute.
- Ouvrir un logiciel de pointage afin d'obtenir les positions successives de la bille en fonction du temps dans un tableur-grapheur (FICHE PRATIQUE ➔ p. 586).



DOC 1 Forces de frottement

Les forces de frottement sont des forces non conservatives qui ne sont donc pas associées à une énergie potentielle.

La valeur des forces de frottement augmente avec la vitesse du système.

DONNÉE

$$g_0 = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

DOC 2 Programme Python

Ce programme affiche l'évolution des différentes grandeurs énergétiques à partir des relevés de position de la bille.



```
Import numpy as np
Import matplotlib.pyplot as plt

## On définit les listes que l'on va créer
V, tg, Ec, Em, Ep=[0],[0],[0],[0],[0]

## On note les différentes valeurs du temps (en millisecondes)
t = np.array([0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180,
320, 340, 360, 380, 400, 420])
t=t/1000 # on convertit les millisecondes en secondes

# On note les différentes valeurs de y en m
Y = np.array([0.327, 0.325, 0.319, 0.31, 0.298, 0.288, 0.21,
0.193, 0.175, 0.156, 0.139, 0.12, 0.102, 0.064, 0.084,
0.045, 0.027, 0.008])

# dans une boucle, on parcourt t et y pour calculer V, Ec,
Ep et Em
for i in range(1,21):
    Vi=
    Eci=
    Epi=
    Emi=
    # On stocke chaque valeur dans les listes
    V.append(Vi)
    Ec.append(Eci)
    Ep.append(Epi)
    Em.append(Emi)
    tg.append(t[i])
# On trace les trois courbes d'énergie
plt.plot(tg,Ec,'or',tg,Ep,'ob',tg,Em,'og')

# On ajoute un titre pour chaque axe et pour le graphique
plt.xlabel('temps t (en s)')
plt.ylabel('Energie (en J)')
plt.show()
```

EXPLOITATION ET ANALYSE

1. a. Réaliser le protocole expérimental.
b. Compléter le programme Python pour visualiser la position de la bille $y(t)$ au cours du mouvement.
c. Commenter l'allure de la courbe obtenue.
2. a. Faire évoluer le programme Python pour déterminer en différents instants, la vitesse v puis les énergies E_c , E_p et E_m .
b. Visualiser et identifier les courbes d'évolution de $E_c(t)$, $E_p(t)$ et $E_m(t)$.
3. a. Faire le bilan des forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'exercent sur la bille pendant son mouvement.
b. Déterminer le travail de la force non conservative au cours du mouvement.

SYNTHÈSE

4. a. Quels transferts énergétiques se produisent au cours du mouvement ?
b. Quelle est la valeur moyenne de la force de frottement au cours du mouvement ? Est-ce pertinent de calculer une force de frottement moyenne dans cette étude ?

Je réussis si...

- Je sais acquérir et pointer une vidéo.
- Je sais calculer de nouvelles grandeurs à l'aide d'un langage de programmation.
- Je sais déterminer puis exploiter les évolutions des différentes formes d'énergie.

1 Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

► Expression du vecteur accélération

On étudie le mouvement d'un objet de masse m au voisinage de la Terre. Dans ce domaine restreint, on peut considérer que le **champ de pesanteur** \vec{g}_0 est **uniforme**.

Toutes les actions mécaniques autres que celle modélisée par le poids \vec{P} , résultant du champ de pesanteur, seront négligées.

D'après la deuxième loi de Newton, $m \cdot \vec{a} = \vec{P} = m \cdot \vec{g}_0$ et $\vec{a} = \vec{g}_0$.

Le **vecteur accélération** \vec{a} du centre de masse d'un objet placé uniquement dans un champ de pesanteur uniforme est constant et égal au vecteur champ de pesanteur \vec{g}_0 .

► Équations horaires du mouvement

Les équations horaires du mouvement sont les expressions des coordonnées des vecteurs vitesse $\vec{v}(t)$ et position $\overrightarrow{OG(t)}$ du système. Pour un système, de centre de masse G, lancé depuis le point O dans le plan (xOy) avec une vitesse initiale \vec{v}_0 dans le plan (xOy) (FIG. 1), on exprime dans le repère d'espace ortho-

normé ($O ; \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$), les vecteurs $\vec{g}_0 \begin{cases} 0 \\ -g_0 \\ 0 \end{cases}$ et $\vec{v}_0 \begin{cases} v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_0 \cdot \sin \alpha \\ 0 \end{cases}$.

$$\text{Puisque } \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \text{ on a } \frac{d\vec{v}}{dt} = \begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = a_x = 0 \\ \frac{dv_y}{dt} = a_y = -g_0 \\ \frac{dv_z}{dt} = a_z = 0 \end{cases}$$

Par intégration, on en déduit un ensemble de primitives possibles :

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = k_1 \\ v_y(t) = -g_0 \cdot t + k_2 \\ v_z(t) = k_3 \end{cases} \quad \text{où } k_1, k_2 \text{ et } k_3 \text{ sont des constantes.}$$

La connaissance de la vitesse initiale ($t = 0$ s) permet d'établir les valeurs de chacune des trois constantes par identification de deux termes égaux :

$$\vec{v}(0) = \vec{v}_0 \text{ d'où } \begin{cases} v_x(0) = k_1 = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(0) = -g_0 \cdot 0 + k_2 = v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_z(0) = k_3 = 0 \end{cases}$$

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(t) = -g_0 \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_z(t) = 0 \end{cases}$$

La composante horizontale de la vitesse est constante, la composante verticale de la vitesse est une fonction affine décroissante du temps (FIG. 2) car l'axe Oy est de sens opposé à \vec{g}_0 .

De même, puisque $\vec{v} = \frac{d\vec{OG}}{dt}$, après intégration et en connaissant la position initiale O à $t = 0$ s, les équations horaires de la position s'écrivent :

$$\overrightarrow{OG(t)} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2}g_0 \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

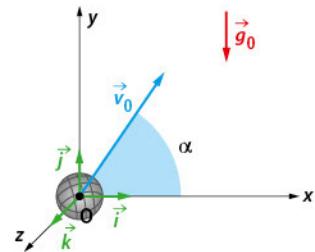


FIG. 1 Le système est lancé depuis O avec une vitesse initiale \vec{v}_0 dans le champ de pesanteur uniforme \vec{g}_0 .

UN PONT VERS LES MATHS

Souvent liée au calcul d'intégrales, le terme intégration désigne ici la recherche de primitive. Une primitive d'une fonction f du temps définie sur un intervalle est une fonction F , définie et dérivable sur cet intervalle, dont la dérivée est f .

► Fiche **MATHS** p. 536

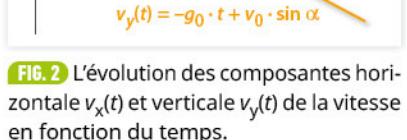


FIG. 2 L'évolution des composantes horizontale $v_x(t)$ et verticale $v_y(t)$ de la vitesse en fonction du temps.

Le mouvement s'effectue dans le plan (xOy) car $z(t) = 0$ (FIG. 3).

Le **mouvement** du centre de masse d'un système **dans un champ uniforme est plan**, le plan étant défini par les vecteurs \vec{v}_0 et \vec{g}_0 .

► Équation de la trajectoire

La trajectoire du centre de masse dans le plan (xOy) est donnée par la courbe d'équation $y = f(x)$. Cette équation s'obtient ainsi :

$$x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \quad \text{d'où} \quad t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos \alpha} \quad \text{et, en reportant } t \text{ dans } y(t), \text{ on obtient :}$$

$$y(x) = \frac{-g_0}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha$$

La **trajectoire** du centre de masse d'un système dans un champ de pesanteur uniforme est une portion de **parabole** (FIG. 4).

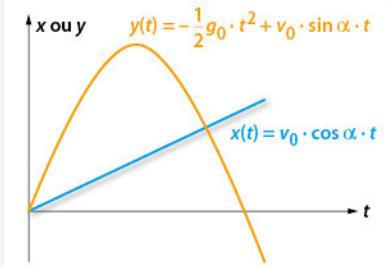


FIG. 3 Les coordonnées $x(t)$ et $y(t)$ au cours du mouvement. $x(t)$ est fonction affine du temps et $y(t)$ est fonction parabolique du temps.

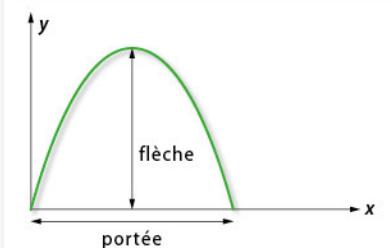


FIG. 4 La flèche est la hauteur maximale atteinte par le système, la portée est la distance entre le point de lancer et le point d'impact sur l'axe horizontal.

2 Mouvements dans un champ électrique uniforme

► Le condensateur plan

Un condensateur plan est formé de deux armatures métalliques, lames conductrices planes et parallèles, proches l'une de l'autre et séparées par un isolant comme l'air ou le vide (FIG. 5).

Entre les deux armatures d'un condensateur plan chargé règne un champ électrique uniforme \vec{E} perpendiculaire aux armatures et orienté vers l'armature chargée négativement.

$$\text{champ électrique} \rightarrow E = \frac{U_{AB}}{d} \quad \begin{array}{l} \text{tension entre les deux} \\ \text{armatures A et B (V)} \\ \text{distance entre les} \\ \text{armatures (m)} \end{array}$$

► Particule chargée dans un champ électrique uniforme

À l'intérieur d'un condensateur plan, une particule de charge q n'est soumise qu'à l'action du champ électrique \vec{E} uniforme car le poids \vec{P} de la particule est négligeable devant la force électrique \vec{F}_e . D'après la deuxième loi de Newton, on écrit : $m \cdot \vec{a} = \vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$, d'où $\vec{a} = \frac{q}{m} \cdot \vec{E}$.

Le **vecteur accélération** \vec{a} d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme est dirigé selon le vecteur champ électrique \vec{E} .

Le **sens du vecteur \vec{a}** dépend de l'orientation du champ \vec{E} et du signe de la charge q .

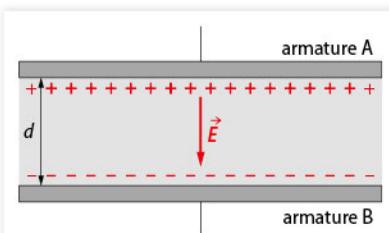


FIG. 5 Condensateur plan.

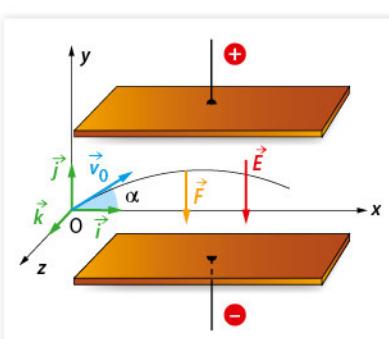


FIG. 6 Charge q positive entrant dans un condensateur plan avec une vitesse initiale \vec{v}_0 .

EXEMPLE

Le mouvement d'une particule de charge q positive (FIG. 6) a pour équations horaires :

$$\overrightarrow{v(t)} = \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(t) = \frac{-qE}{m} \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad \text{et} \quad \overrightarrow{OG(t)} = \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{-qE}{m} \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t \end{cases}$$

La trajectoire de la particule est une portion de parabole d'équation $y(x) = \frac{-q \cdot E}{2mv_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha$ dont la concavité dépend du signe de q .

3 Aspect énergétique dans un champ uniforme

► Principe d'un accélérateur linéaire de particules chargées

Les accélérateurs linéaires de particules sont constitués d'un ou plusieurs condensateurs plans associés en série. Ils sont principalement utilisés en recherche, en imagerie ou à des fins thérapeutiques (FIG. 7).

Dans un condensateur plan, le **travail de la force électrique** \vec{F}_e fait varier l'énergie cinétique d'une particule de charge q .

$$\text{tension électrique entre A et B (V)} \quad \downarrow$$

variation d'énergie $\rightarrow \Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \cdot U_{AB}$

charge électrique (C) \uparrow

Dans un condensateur plan, la relation $E = \frac{U_{AB}}{AB}$ est toujours vérifiée.

EXEMPLE

Dans un canon à électron (FIG. 8), des électrons sont produits sans vitesse initiale en O puis accélérés dans un condensateur plan. La tension aux bornes du condensateur est égale à $U_{AB} = -5,0 \text{ kV}$. Le travail de la force électrique entre les deux armatures A et B vaut :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \cdot E \cdot d \cdot \cos 180^\circ = q \cdot U_{AB}$$

soit $\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_e) = -1,6 \times 10^{-19} \times -5\,000 = 8,0 \times 10^{-16} \text{ J}$.

Le travail est moteur et l'énergie cinétique du système augmente.

► Conservation de l'énergie

Dans les deux cas de champs uniformes étudiés ici, la force de pesanteur ou la force électrique sont constantes donc **conservatives** et associées respectivement à une **énergie potentielle de pesanteur** E_{pp} ou une **énergie potentielle électrique** $E_{p(\text{élec})}$.

On peut exploiter le principe de conservation de l'énergie selon les deux variantes :

L'énergie mécanique se conserve en l'absence de force non conservative : $E_m = E_c + E_p = \text{cste}$ (FIG. 9). Il y a conversion intégrale d'énergie cinétique en énergie potentielle et réciproquement.

La seconde variante utilise l'expression du travail des forces en exploitant le **théorème de l'énergie cinétique** :

$$\Delta E_c = \sum W_{AB}(\vec{F}).$$

EXEMPLE

Dans le cas du canon à électron (FIG. 8) pour un parcours entre A et B, d'après la conservation de l'énergie mécanique, $\Delta E_m = 0$ d'où $\Delta E_c = -\Delta E_{p(\text{élec})}$.

Avec $E_{p(\text{élec})} = q \cdot V$, on obtient $\Delta E_c = E_c(B) - 0 = q \times (V_A - V_B) = -eU_{AB}$

d'où $\frac{1}{2} \times mv_B^2 = -eU_{AB}$ et $v_B = \sqrt{\frac{-2eU_{AB}}{m}}$

soit $v_B = \sqrt{\frac{2 \times (-1,6 \times 10^{-19}) \times (-5,0 \times 10^3)}{9,11 \times 10^{-31}}} = 4,2 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, on retrouve également l'expression :

$$\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{AB} = -e \cdot E \cdot d \cdot \cos 180^\circ = -eU_{AB}$$



FIG. 7 Accélérateur linéaire de particules au CERN.

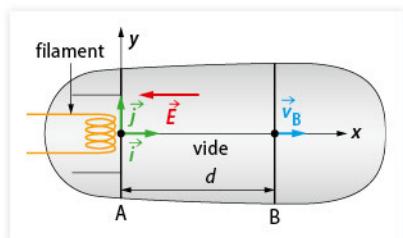


FIG. 8 Canon à électron constitué d'une source d'électrons et d'un condensateur plan accélérant les électrons produits.

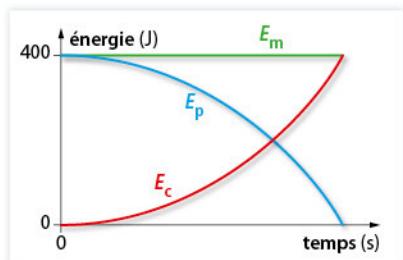
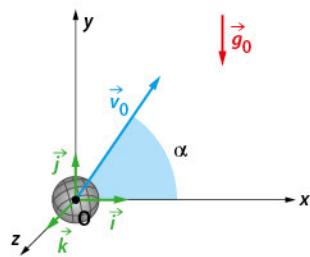


FIG. 9 Conservation de l'énergie mécanique dans un champ uniforme.

1 Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

$$\overrightarrow{a_G(t)} = \vec{g}_0 \text{ soit } \overrightarrow{a_G(t)} \begin{cases} a_x(t) = a_z(t) = 0 \\ a_y(t) = -g_0 \end{cases}$$



► Équations horaires du mouvement

Pour un objet lancé avec \vec{v}_0 oblique

$$\overrightarrow{v(t)} \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(t) = -g_0 \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_z(t) = 0 \end{cases}$$

$$\overrightarrow{OG(t)} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g_0 \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

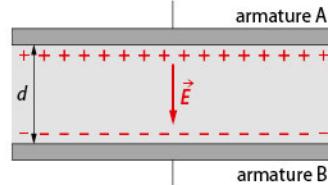
Puisque $z(t) = 0$, le mouvement s'effectue dans le plan (xOy) formé par les vecteurs \vec{v}_0 et \vec{g}_0 .

► Équation de la trajectoire parabolique

$$y(x) = \frac{-g_0}{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha$$

2 Mouvement dans un champ électrique uniforme

► Condensateur plan et champ électrique



tension entre les deux armatures A et B (en V)

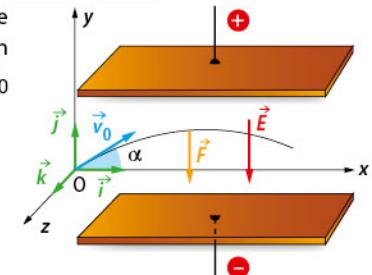
$$\text{champ électrique (en } V \cdot m^{-1}) \rightarrow E = \frac{U_{AB}}{d}$$

distance entre les armatures (en m)

► Équations horaires du mouvement

Mouvement de particule de charge $q > 0$ dans le plan formé par les vecteurs \vec{v}_0 et \vec{E} :

$$\vec{a} = \frac{q}{m} \cdot \vec{E}.$$



$$\overrightarrow{v(t)} \begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(t) = -\frac{qE}{m} \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

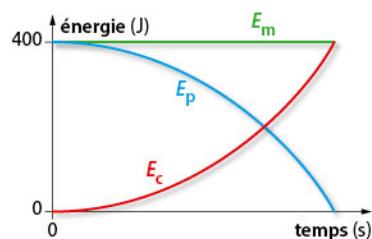
$$\overrightarrow{OG(t)} \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{-qE}{m} \cdot t^2 + v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t \end{cases}$$

► Équation de la trajectoire parabolique

$$y(x) = \frac{-q \cdot E}{2mv_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha$$

3 Aspects énergétiques dans un champ uniforme

Conservation de l'énergie mécanique

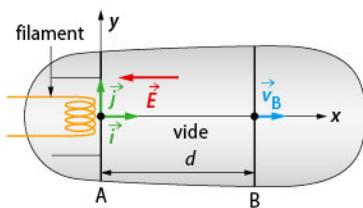


$$\text{énergie mécanique} \rightarrow E_m = E_c + E_p \quad \begin{matrix} \text{énergie cinétique (en J)} \\ \text{énergie potentielle (en J)} \end{matrix}$$

$$E_{pp} = m \cdot g \cdot y \quad \begin{matrix} \text{masse (en kg)} \\ \text{intensité de la pesanteur (en } m \cdot s^{-2}) \end{matrix}$$

altitude (en m)

Principe de l'accélérateur linéaire



$$\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \cdot U_{AB}$$

potentiel électrique (en V)
charge électrique (en C)
variation d'énergie cinétique (en J)
tension électrique entre A et B (en V)
charge électrique (en C)

EXERCICES

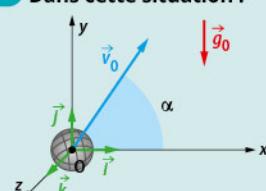
Vérifier l'essentiel

EN AUTONOMIE

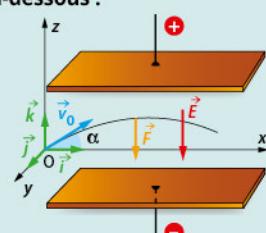
Pour chaque question, choisir la ou les bonnes réponses. ➔ **SOLUTIONS EN PAGE 593**



1 Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

	A	B	C
1 Pour un objet lancé dans un champ de pesanteur uniforme, le mouvement :	est uniforme.	est plan.	est uniformément accéléré.
2 Dans cette situation :		$\vec{g}_0 \begin{cases} 0 \\ g_0 \\ 0 \end{cases}$	$\vec{v}_0(t) \begin{cases} v_0 \cdot \sin \alpha \\ v_0 \cdot \cos \alpha \\ 0 \end{cases}$ en chute libre, $a_y(t) = -g_0$
3 Dans la même situation, en chute libre :	$\vec{v}_G(t) \begin{cases} v_0 \cdot \cos \alpha \\ -g_0 \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \\ 0 \end{cases}$	la trajectoire est hyperbolique.	la trajectoire a pour équation : $y(t) = -\frac{1}{2}g_0 t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t$

2 Mouvement dans un champ électrique uniforme

	A	B	C
4 Dans un condensateur plan avec une tension $U_{AB} > 0$ entre les armatures, le champ \vec{E} :	est perpendiculaire aux armatures et orienté vers l'armature A.	est proportionnel à la tension U_{AB} .	est proportionnel à la distance d entre les armatures.
5 Dans la configuration ci-dessous :		la particule peut être un électron. la composante $v_x(t)$ de la vitesse est une constante.	la composante $v_y(t)$ de la vitesse est une fonction affine du temps.
6 Pour un proton qui entre dans le précédent condensateur avec une vitesse horizontale \vec{v}_0 :	sa trajectoire est un arc de parabole.	la force \vec{F}_e est orientée vers l'armature, chargée négativement.	Son accélération vaut $\vec{a} = \frac{m}{e} \cdot \vec{E}$.

3 Aspects énergétiques dans un champ uniforme

	A	B	C
7 Dans un champ \vec{E} uniforme, en absence de force de frottement :	l'énergie mécanique se conserve.	une énergie potentielle E_p peut être associée à la force électrique.	$\Delta E_c = \Delta E_p$.
8 Dans un accélérateur de particule constitué d'un condensateur plan d'armatures A et B :	$\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_e) = q \cdot U_{AB}$	le vecteur accélération est parallèle aux armatures.	si la vitesse d'entrée est nulle alors la vitesse de sortie vaut $v_B = \sqrt{\frac{2qU_{AB}}{m}}$

Acquérir les bases

1 Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

- Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.
- Montrer que le mouvement dans un champ uniforme est plan.
- Établir l'équation de la trajectoire.

→ Acquérir les bases : 9 12 → S'entraîner : 20

DONNÉE

► Intensité de la pesanteur $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

9 Cas d'une chute libre verticale

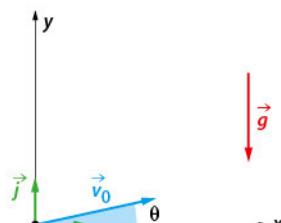
Une bille de masse m est lâchée sans vitesse initiale d'une hauteur $h = 1,00 \text{ m}$. La bille de centre de masse G n'est soumise qu'à l'action mécanique de la Terre modélisée par la force de pesanteur. On choisit pour repère un axe vertical (Oz) orienté vers le bas, dont l'origine O correspond à la position initiale de la bille à $t = 0$.



- Établir la relation entre le vecteur accélération du centre de masse de la bille et le vecteur champ de pesanteur.
- En déduire les équations horaires du mouvement $v_z(t)$ et $z(t)$.
- Montrer que le mouvement de la bille dans le champ de pesanteur est plan.
- Quelle est la durée de chute ?
- Quelle est la vitesse maximale atteinte par la bille ?

10 Cas d'un lancer oblique

Lors d'un swing, un joueur de golf professionnel peut envoyer la balle parfois jusqu'à 250 mètres. Cette distance, appelée « portée », est la distance parcourue mesurée horizontalement par rapport à l'impact initial entre le club et la balle de golf.



Une balle de golf de centre de masse G et d'une masse de 46 g est lancée au niveau du sol avec une vitesse initiale v_0 faisant un angle θ par rapport à l'horizontale.

Sa trajectoire est étudiée dans un repère ($O ; x, y, z$) dont l'origine correspond au point de départ de la balle.

Données : angle $\theta = 11,0^\circ$, $v_0 = 75,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Établir les équations horaires du mouvement.

2. Montrer que le mouvement est plan.

3. Montrer que la portée de la balle s'écrit :

$$x_{\max} = \frac{2 v_0^2 \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\theta)}{g}.$$

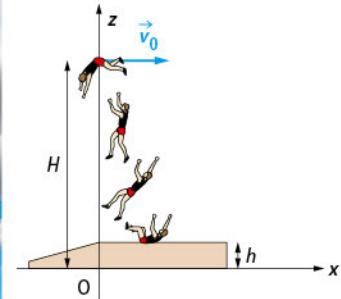
4. Calculer puis comparer cette valeur à la valeur annoncée.

11 Atterrissage d'une perchiste

On souhaite étudier la phase descendante d'une athlète lors de l'épreuve du saut à la perche.

On considère le système perchiste que l'on assimile à un point matériel.

On négligera dans cette phase toute action de l'air. La barre est franchie avec un vecteur vitesse \vec{v}_0 horizontal.



On se place dans le repère ($O ; x, y, z$) en prenant le début de la phase descendante comme origine des temps ($t = 0 \text{ s}$).

Données : hauteur du tapis de réception $h = 0,70 \text{ m}$; hauteur du saut $H = 4,5 \text{ m}$.

1. Montrer que les composantes du vecteur accélération du système sont :

$$a_x(t) = a_y(t) = 0 \text{ et } a_z(t) = -g_0.$$

2. Montrer que les équations horaires du mouvement du perchiste s'écrivent :

$$x(t) = v_0 \cdot t, y(t) = 0 \text{ et } z(t) = -\frac{1}{2}g_0 \cdot t^2 + H.$$

3. Montrer que le mouvement est plan.

4. Quelle est la durée de la phase descendante ?

12 Équation de la trajectoire

Un projectile lancé depuis le sol dans un champ de pesanteur uniforme a pour équations horaires dans un repère orthonormé ($O ; x, y, z$) :

$$x(t) = v_0 \cos \alpha \cdot t, y(t) = -\frac{1}{2}g_0 t^2 + v_0 \sin \alpha \cdot t \text{ et } z(t) = 0$$

Données : $v_0 = 10,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; angle $\alpha = 60^\circ$.

1. Établir l'équation de sa trajectoire.

2. Représenter la situation sur un schéma et tracer l'allure de sa trajectoire $y = f(x)$.

3. La flèche y_{\max} correspond à l'altitude maximale atteinte par le projectile.

Montrer que $y_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g_0}$. Calculer y_{\max} :

4. Exprimer puis calculer la valeur de la portée du tir x_{\max} qui correspond à la distance mesurée horizontalement entre le point de lancement et le point d'impact.

EXERCICES

2 Mouvement dans un champ électrique uniforme

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du BAC

Champ électrique créé par un condensateur plan

- Discuter de l'influence des grandeurs physiques sur les caractéristiques du champ électrique créé par un condensateur plan.

► Acquérir les bases : 11

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme

- Établir et exploiter les équations horaires du mouvement.
- Montrer que le mouvement dans un champ uniforme est plan.
- Établir l'équation de la trajectoire.

► Acquérir les bases : 14 ► S'entraîner : 19 20

13 Condensateur plan

Un condensateur plan est constitué de deux armatures planes et parallèles séparées par un milieu isolant comme l'air.



Entre les deux armatures A et B du condensateur séparées par une distance d , s'établit un champ électrique \vec{E} uniforme tel que $U_{AB} = E \cdot d$.

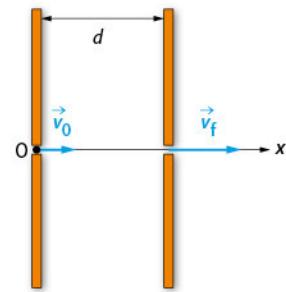
Choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s).

- La direction du champ \vec{E} est :
 - parallèle aux armatures ;
 - perpendiculaire aux armatures ;
 - varie selon le signe de la tension U_{AB} .
- Lorsque la distance entre les armatures est doublée, la valeur du champ électrique \vec{E} :
 - est constante ;
 - est divisée par deux.
 - est doublée ;
- Lorsque la tension entre les armatures est divisée par deux, la valeur du champ électrique \vec{E} :
 - est constante ;
 - est divisée par deux.
 - est doublée ;
- Lorsqu'on inverse la polarité des armatures :
 - le champ \vec{E} s'annule ;
 - le champ \vec{E} garde la même norme ;
 - Le champ \vec{E} change de sens.

14 Équations horaires du mouvement d'un proton

Un proton pénètre dans un condensateur plan avec un vecteur vitesse initial \vec{v}_0 perpendiculaire aux armatures. Dans le condensateur plan règne un champ électrique uniforme de valeur : $E = 2,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$.

- Reproduire cette figure et représenter sans souci d'échelle le vecteur \vec{E} .



- a. Montrer que l'action mécanique de la Terre sur le proton est négligeable devant l'action modélisée par la force électrique.
- b. Établir la relation entre le vecteur accélération de la particule et le vecteur champ électrique.

- a. Projeter cette relation sur l'axe (Ox) et établir une relation entre la composante de l'accélération a_x , E , m et e .
- b. En déduire les équations horaires de la vitesse $v_x(t)$ et de la position $x(t)$.

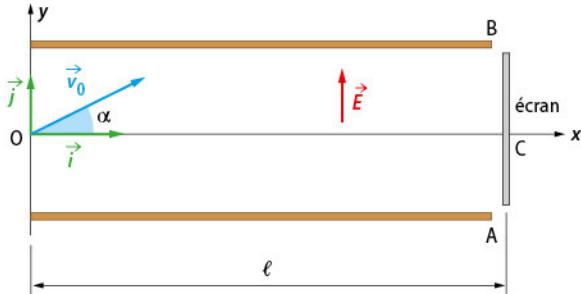
c. Montrer que cet accélérateur est linéaire.

- a. En exploitant une équation horaire, déterminer à quel instant le proton sort du condensateur.
- b. En déduire la vitesse finale du proton. Conclure sur le rôle du condensateur plan dans ce dispositif.

Données : masse du proton $m = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $v_0 = 2,0 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, intensité de la pesanteur $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, $d = 18,0 \text{ cm}$.

15 Équation de la trajectoire d'un électron

Un électron pénètre dans un condensateur plan, comme indiqué sur la figure ci-dessous. On se place dans le repère $(O; x, y)$.



- a. Établir l'expression du vecteur accélération de l'électron assimilé à un point matériel.

b. Montrer que les équations horaires de la vitesse s'écrivent :

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ v_y(t) = -\frac{eE}{m} \cdot t + v_0 \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

- En déduire les équations $x(t)$ et $y(t)$ donnant la position de l'électron.

d. Montrer que le mouvement de l'électron est plan.

- a. Établir l'expression de la trajectoire $y = f(x)$ de cet électron.

b. Quelle est la nature de cette trajectoire ?

- a. Exprimer littéralement la condition que doit vérifier l'angle α pour que l'électron arrive au centre C de l'écran.

b. Calculer α pour $\ell = 20 \text{ cm}$

Données : masse $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, $v_0 = 1,0 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,

$$E = 850 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}; e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}; \frac{\sin 2\alpha}{2} = \cos \alpha \cdot \sin \alpha$$

3 Aspects énergétiques dans un champ uniforme

EN AUTONOMIE

Ce qu'on attend de moi le jour du **BAC**

Aspects énergétiques

- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique dans le cas du mouvement dans un champ uniforme.
- Exploiter le théorème de l'énergie cinétique dans un champ uniforme.
- Étudier l'évolution des énergies cinétique, potentielle et mécanique.

► Acquérir les bases : 17 ► S'entraîner : 21 22

Principe de l'accélérateur linéaire de particules chargées

- Décrire le principe d'un accélérateur linéaire de particules chargées.

► Acquérir les bases : 18

16 Boule et conservation de l'énergie mécanique



Une boule de pétanque est lancée depuis une hauteur $h = 135 \text{ cm}$ avec une vitesse $v_0 = 6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On assimilera la boule à un point matériel.

Données : masse $m = 710 \text{ g}$, intensité de la pesanteur $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

1. Exprimer son énergie mécanique à l'instant du lancer.

- a. Sous quelle hypothèse s'applique la conservation de l'énergie mécanique ? Est-ce une hypothèse raisonnable ici ?
- b. Exploiter la conservation de l'énergie mécanique pour exprimer puis calculer la vitesse v_f d'impact au sol de la boule.
- c. Représenter graphiquement l'allure de l'évolution des différentes énergies au cours du mouvement.

17 Boule et théorème de l'énergie cinétique

Dans les mêmes conditions que l'exercice précédent :

1. Exprimer le travail du poids entre les points de lancer A et d'impact B.
2. Énoncer le théorème de l'énergie cinétique. Exploiter le théorème afin d'exprimer puis de calculer la vitesse v_B d'impact au sol de la boule. Que constatez-vous ?

18 Accélération linéaire de particules et énergie

Les accélérateurs linéaires de particules peuvent être modélisés par une succession de condensateurs plans associés en ligne droite.

Données : énergie potentielle électrique $E_{pe} = q \cdot V$, tension $U_{AB} = E \cdot AB = V_A - V_B = -1,0 \text{ kV}$, $V_0 = 1,0 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, masse de l'électron $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

1. Représenter un condensateur plan et indiquer à quelles conditions une particule de charge q peut être accélérée en décrivant une trajectoire rectiligne.
2. Un électron pénètre dans un condensateur plan d'armatures A et B avec un vecteur vitesse perpendiculaire aux armatures. On assimilera la particule à un point matériel et on négligera l'action de la force de pesanteur.
 - a. Exprimer la loi de conservation de l'énergie mécanique entre le point O et le point de sortie du condensateur plan.
 - b. En déduire l'expression de la vitesse v_f en fonction de v_0 , e , m et U_{AB} . Calculer v_f .
3. a. Exprimer le travail de la force électrique au cours du mouvement dans le condensateur plan en fonction de e et U_{AB} .
b. Exploiter le théorème de l'énergie cinétique pour retrouver l'expression de la vitesse v_f établie question 2.

Faire le point avant d'aller plus loin

Pour vérifier ses connaissances, répondre aux questions suivantes (sans regarder le cours !)

**PRÉPA
BAC**

Exprimer le travail $\vec{W}_{AB}(F_e)$ pour une particule de charge q évoluant dans un condensateur plan.

Représenter un condensateur plan. Décrire le champ électrique \vec{E} à l'intérieur et indiquer de quels paramètres dépend \vec{E} .

Énoncer puis exprimer le théorème de l'énergie cinétique au cours d'une chute dans un champ de pesanteur uniforme.

Établir l'expression du vecteur \vec{a} d'une particule de charge q dans un champ électrique uniforme.

Décrire le principe de fonctionnement d'un accélérateur de particules.

Établir l'expression du vecteur accélération \vec{a} d'un objet lors d'une chute dans un champ de pesanteur uniforme.

Écrire l'expression de la trajectoire pour un système, de centre de masse G , lancé depuis le point O dans le plan (xOy) avec une vitesse initiale \vec{v}_0 formant un angle α avec l'horizontale.

Énoncer puis exprimer la conservation de l'énergie mécanique au cours du mouvement d'une particule dans un champ électrique uniforme.

Retrouver ces questions en version numérique

bordas
Flash PAGE
cartes
mémos

EXERCICES

Exercice résolu

EN AUTONOMIE

19 Déviation dans un champ électrique

Un champ électrique uniforme, de valeur $E = 5\,200 \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, est créé par un condensateur plan constitué de deux armatures planes A_1 chargée négativement et A_2 chargée positivement séparées de 10 cm et longues de 10 cm. Un électron pénètre dans le champ \vec{E} à l'ordonnée y_0 avec une vitesse \vec{v}_0 parallèle aux plaques.

Données : $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; $v_0 = 1,0 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\ell = 10 \text{ cm}$; $y_0 = 5,0 \text{ cm}$.

1. **Exprimer** les composantes du vecteur accélération dans le repère $(O; x, y, z)$.
2. a. En déduire les équations horaires du mouvement de l'électron.
- b. **Établir** l'équation de la trajectoire et montrer que le mouvement est plan.
- c. L'électron sortira-t-il du condensateur plan ? Si oui, indiquer les coordonnées du point de sortie S.

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. On considère le système électron, seule l'action de la force électrique est à prendre en compte, donc d'après la seconde loi de Newton, $m \cdot \vec{a} = \vec{F}_e = -e \cdot \vec{E}$, d'où $\vec{a} = \frac{-e}{m} \cdot \vec{E}$. \vec{E} est perpendiculaire aux armatures et orienté vers y positif.

Les composantes sont :

$$a_x(t) = a_z(t) = 0 \text{ et } a_y(t) = \frac{-e}{m} \cdot E.$$

2. a. Par deux intégrations successives, on obtient :

$$\begin{cases} \vec{v}(t) = \begin{cases} v_x(t) = v_0 \\ v_y(t) = \frac{-eE}{m} \cdot t \text{ car } \vec{v}(0) = \vec{v}_0 \text{ puis } \overrightarrow{\text{OG}}(t) \\ v_z(t) = 0 \end{cases} \\ \begin{cases} x(t) = v_0 \cdot t \\ y(t) = \frac{-eE}{2m} \cdot t^2 + y_0 \\ z(t) = 0 \end{cases} \end{cases}$$

car $x(0) = z(0) = 0$ et $y(0) = y_0$.

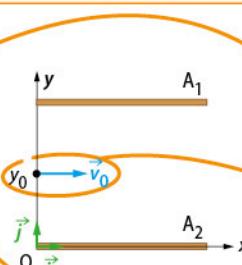
b. En substituant t par $\frac{x}{v_0}$ dans l'expression de $y(t)$, il vient $y(x) = \frac{-eEx^2}{2mv_0^2} + y_0$.

Puisque $z(t) = 0$, le mouvement se produit dans le plan (xOy) .

c. Pour $x_s = \ell$, on trouve $y(x_s) = \frac{-eE\ell^2}{2mv_0^2} + y_0$ soit :

$$y(x_s) = \frac{-1,6 \times 10^{-19} \times 5\,200 \times 0,10^2}{2 \times 9,11 \times 10^{-31} \times (1,0 \times 10^7)^2} + 0,05 = 4,3 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

L'électron sortira au point S de coordonnées $(0,10 ; 4,3 \times 10^{-3} ; 0)$.



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

- La valeur du champ indique que seule la force électrique est à considérer.
- Le schéma renseigne sur les conditions initiales de vitesse et de position.
- Le signe des charges indique l'orientation de \vec{E} .

LES VERBES D'ACTION

- **Exprimer**: donner une relation littérale reliant les grandeurs physiques.
- **Établir**: faire apparaître les étapes clés pour aboutir à l'expression.

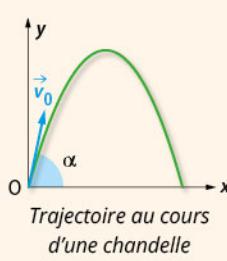
QUELQUES CONSEILS

1. Représenter \vec{E} sur le schéma. Pour l'électron, $q = -e$.
2. a. Pour déterminer les primitives, utiliser les coordonnées du vecteur vitesse à $t = 0$ ($v_0 ; 0 ; 0$) et de la position G de l'électron à $t = 0$ ($0, y_0, 0$).
2. c. Utiliser l'équation de la trajectoire pour trouver y_S et vérifier que $y_S > 0$.

EXERCICE SIMILAIRE

20 Mouvement d'un ballon

Au rugby, une « chandelle » désigne un coup de pied permettant d'envoyer le ballon en hauteur par-dessus la ligne de défense adverse. L'auteur de cette action frappe le ballon à $t = 0$ s au point O du repère ci-contre. Il doit ensuite se déplacer afin de récupérer le ballon derrière le rideau défensif.



Données : À l'instant $t = 0$ s, le vecteur vitesse du ballon fait un angle α égal à 60° avec l'axe Ox et sa valeur est $v_0 = 10,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Établir les équations horaires du mouvement du ballon.
 2. Montrer que l'équation de la trajectoire du point M est :
- $$y(x) = \frac{-g_0}{2 \times v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha.$$
3. Déterminer par le calcul le temps dont dispose le joueur pour récupérer le ballon avant que celui-ci ne touche le sol.

Exercice résolu

EN AUTONOMIE

21 Accélérateur de particule

Dans un accélérateur linéaire, un noyau d'hélium He^{2+} ($Z=2, A=4$) subit le travail moteur et maximal d'une force électrique constante \vec{F}_e . De vitesse négligeable à l'entrée, il est accéléré dans l'une des cavités de l'accélérateur modélisée par un condensateur plan de longueur AB sous l'action d'un champ électrique de valeur $E = 400 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$.

Données : masse d'un nucléon $m_n = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$; $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $AB = 0,50 \text{ m}$; énergie potentielle électrique $E_{\text{p(élec)}} = q \cdot V + \text{cste}$

1. a. **Montrer** que l'on peut négliger l'action mécanique modélisée par la force de pesanteur devant celle associée à la force électrique.

b. **Représenter** la situation sur un schéma. Identifier le signe des armatures.

2. a. **Établir** l'expression du travail que fournit la force électrique \vec{F}_e lors du passage du noyau d'hélium dans la cavité en fonction de q et U_{AB} .

b. **Énoncer** puis appliquer le théorème de l'énergie cinétique pour calculer la vitesse v_B du noyau en sortie de la cavité.

3. a. Montrer que l'énergie potentielle électrique est une fonction affine de la distance x parcourue dans la cavité.

b. **Représenter** sur un graphe l'évolution des énergies E_c , E_p et E_m en fonction de x .

EXEMPLE DE RÉDACTION

1. a. $P = 4 m_n g$ et $F_e = 2 eE$ d'où $\frac{F_e}{P} = 5 \times 10^{13}$ donc F_e prédomine.

b. Les noyaux entrés en A dans le condensateur plan sont attirés par l'armature B chargée négativement.

2. a. $W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{AB}$

$$= 2 eE \cdot AB \cdot \cos 0 = 2 eE \cdot AB = 2 eU_{AB}.$$

b. La variation d'énergie cinétique d'un système se déplaçant du point A au point B est égale à la somme des travaux des forces qui modélisent les actions mécaniques qui s'appliquent sur le système lors de son déplacement :

$$\Delta E_c = W_{AB}(\vec{F}_e) \text{ d'où } \frac{1}{2}mv_B^2 = 2 eU_{AB} \text{ et } v_B = \sqrt{\frac{4 eE \cdot AB}{4 m_n}}$$

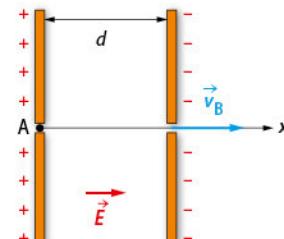
et $v_B = 4,3 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

3. a. Soit un point X situé à la distance x sur AB, $U_{AX} = E \cdot x = V_A - V$ donc V est fonction affine de x et puisque $E_{\text{p(élec)}} = q \cdot V + \text{cste}$ alors $E_{\text{p(élec)}}$ est fonction affine de x .

b. $E_c(A) = 0$ et si on choisit $E_{\text{p(élec)}}(A) = 0$ alors $E_m(A) = 0$ à l'abscisse $x = 0$. En l'absence de force non conservative, $E_m(B) = E_m(A) = 0$

$$\text{or } E_c(B) = \frac{1}{2}mv_B^2 \text{ ou } E_c(B) = 6,4 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$\text{et } E_{\text{p(élec)}}(B) = -E_c(B) = -6,4 \times 10^{-14} \text{ J pour } x = 0,50 \text{ m.}$$



LES CLÉS DE L'ÉNONCÉ

► Le travail moteur et maximal indique un angle nul entre \vec{F}_e et \vec{AB} .

► La charge de l'ion vaut $q = +2 \text{ e}$. Sa masse vaut $m = 4 m_n$.

LES VERBES D'ACTION

► **Montrer**: effectuer un raisonnement logique conduisant à un résultat attendu.

► **Établir**: faire apparaître les étapes clés pour aboutir à l'expression.

► **Énoncer**: réciter le théorème dans son intégralité.

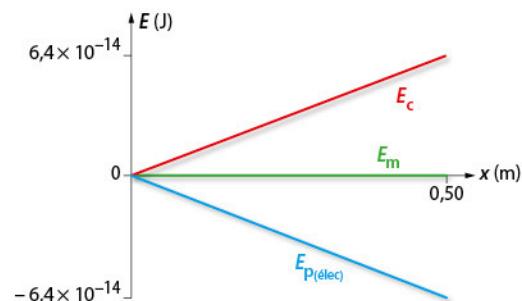
► **Représenter**: rendre une situation perceptible par une figure.

QUELQUES CONSEILS

1. Faire un rapport pour comparer les deux valeurs.

3. Si g est fonction affine de f , elle-même fonction affine de x , alors g est fonction affine de x .

b. Choisir, dans l'expression $E_{\text{p(élec)}} = qV + \text{cste}$, une constante adaptée pour représenter E_p , E_c et E_m sur le même graphe.



EXERCICE SIMILAIRE

22 Lancer de poids

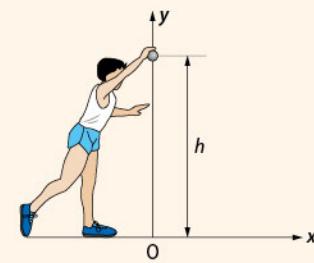
Un lanceur projette un boulet avec une vitesse de $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. On assimilera le boulet à un point matériel et on négligera l'action de l'air.

Données : $g_0 = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, $h = 2,05 \text{ m}$.

1. a. **Énoncer** le théorème de l'énergie cinétique.

b. **L'appliquer** au système boulet pour exprimer la vitesse v_B d'impact au sol du boulet.

2. **Représenter** l'allure des courbes des énergies E_c , E_{pp} et E_m au cours du mouvement.



S'entraîner pour maîtriser

SAVOIR RÉDIGER

23 Proposer une correction de la solution proposée par un élève à l'énoncé.

Énoncé

Une gymnaste s'élance d'un trampoline. On se place dans le repère $(O; x, y, z)$ avec l'axe Oz vertical orienté vers le haut. Le centre de masse de la gymnaste est à l'altitude $z_0 = 1,50 \text{ m}$ lorsqu'elle quitte la surface du trampoline avec une vitesse initiale verticale $v_0 = 7,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



On assimile la gymnaste à un point matériel et on néglige toute action de l'air.

1. a. Établir les équations horaires du mouvement du système.

b. Montrer que le mouvement est rectiligne ralenti lors de l'ascension.

2. a. Exprimer la durée de l'ascension t_a du système.

b. Calculer la hauteur h_{\max} atteinte par le système.

Solution proposée par un élève

1. a. D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{a}(t) = \vec{g}$ d'où $v_z(t) = -g \times t + v_0$) Faux car $z_0 \neq 0$.
et $z(t) = \frac{-g}{2} \times t^2 + v_0 \times t$

b. Le poids est orienté vers le bas donc le mouvement est ralenti.) Raisonnez avec les équations.

2. a. Au sommet de la trajectoire, la vitesse est nulle.

$$v_z(t_a) = -g \times t_a + v_0 = 0 \text{ d'où } t_a = \frac{7,0}{9,81} = 0,71 \text{ s.}$$

$$\text{b. } h_{\max} = z(t_a) = \frac{-g}{2} \times t_a^2 + v_0 \times t_a \text{ d'où } h_{\max} = \frac{-9,81}{2} \times 0,71 + 7,0 \times 0,71 = 1,5 \text{ m.}$$

Exprimer, ce n'est pas donner la valeur.

Calcul faux.

24 Paramètres de lancement d'un projectile

ANIMATION

Chute libre parabolique



b. Déterminer la valeur de α permettant d'obtenir la flèche maximale. À quelle situation correspond ce tir ?

3. a. La portée du tir correspond à la distance x_{\max} parcourue par le projectile selon l'axe horizontal. Sachant que $\sin 2\alpha = 2 \cos \alpha \cdot \sin \alpha$, montrer que $x_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$.

b. Quel angle α permet d'obtenir la portée maximale ?

4. Comment varient x_{\max} et y_{\max} quand la vitesse de lancement est doublée ?

5. Vérifier les résultats des questions 2, 3 et 4 sur l'animation « Chute libre parabolique ».

25 Suivi de l'évolution des énergies TABLEUR-GRAPHEUR

Un ion Na^+ évolue dans un condensateur plan (où règne un champ électrique uniforme E) selon un mouvement rectiligne. Dans le tableau suivant sont relevées ses positions :

t (en μs)	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
x (en cm)	0,0	0,02	0,9	1,9	3,4	5,3	7,7

t (en μs)	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
x (en cm)	10,1	13,5	17,0	21,0	25,8	30,8	36,3	42,0

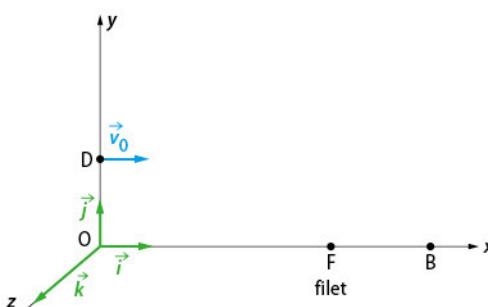
Données : Énergie potentielle électrique

$E_{p(\text{élec})} = q \cdot V = e \cdot E \cdot x$, champ électrique $E = -4,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, $m = 3,8 \times 10^{-26} \text{ kg}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, v_0 négligeable.

1. Renseigner les valeurs x et t dans un tableau.

2. a. Exprimer la composante de la vitesse $v_x(t)$ puis la calculer à l'aide du tableur.
- b. Quelle est la nature du mouvement de la particule ?
3. a. Établir les expressions des différentes énergies cinétique E_c , potentielle électrique $E_{p(\text{élec})}$ et mécanique E_m et les calculer à l'aide du tableur.
- b. Représenter graphiquement les énergies au cours du mouvement de la particule. Conclure sur les transferts énergétiques réalisés.

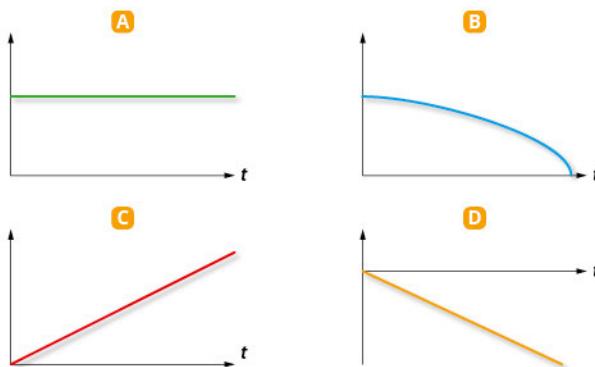
26 Qualité du service au tennis



Au service, un joueur de tennis souhaite que la balle frappe le sol en B tel que OB = L = 18,7 m. Pour cela, il lance la balle verticalement et la frappe avec sa raquette en un point D situé sur la verticale de O à la hauteur H. La balle part alors de D avec une vitesse horizontale de valeur $v_0 = 126 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. La balle sera considérée comme ponctuelle et on négligera l'action de l'air.

Données : $m = 58,0 \text{ g}$; $OD = H = 2,20 \text{ m}$; $OF = 12,2 \text{ m}$; $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

1. Dans le repère (O ; x, y, z), établir l'expression du vecteur accélération de la balle au cours du mouvement.
2. a. Établir les équations horaires $x(t)$, $y(t)$, $v_x(t)$ et $v_y(t)$ de la balle.
- b. Attribuer chacune des équations horaires précédentes à l'un des quatre graphes suivants :



3. a. Établir l'équation de la trajectoire de la balle.
- b. La balle, supposée ponctuelle, passe-t-elle au-dessus du filet de hauteur 92,0 cm ?
- c. Pour être valide, la balle de service doit retomber entre le filet et B. Le service est-il valide ?
4. a. Déterminer le travail du poids de la balle entre l'instant de la frappe et celui de l'impact au sol.
- b. En déduire la vitesse de la balle lorsqu'elle frappe le sol.
- c. Pourquoi faut-il frapper la balle bien haut lors du service ?

27 Hauteur maximale d'un lancer



Un boulet de masse m , assimilé à un point matériel est lancé verticalement depuis le sol avec une vitesse initiale v_0 .

Données :

Grandeur	Valeur	Incertitude-type
m	45 g	0,5 g
v_0	$12,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$0,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Incertitude absolue pour l'énergie cinétique :

$$u(E_c) = E_c \times \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + 4 \times \left(\frac{u(v)}{v}\right)^2};$$

Incertitude absolue pour la hauteur maximale du boulet :

$$u(h) = h \times 2 \left(\frac{u(v_0)}{v_0} \right); g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

1. Exprimer l'énergie mécanique initiale du système sous la forme $E_m \pm u(E_m)$.

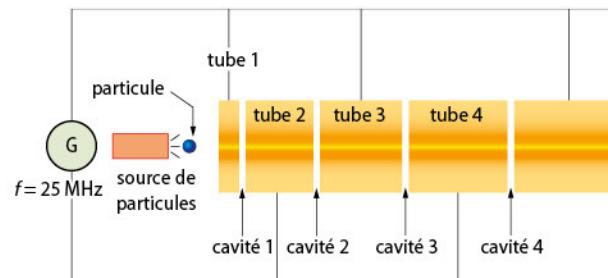
2. a. En négligeant l'action de l'air sur le système, montrer que la hauteur maximale vaudrait $h = \frac{v_0^2}{2g_0}$.

- b. Exprimer la hauteur maximale sous la forme $h \pm u(h)$.

3. La mesure de hauteur maximale atteinte par le boulet après pointage est 6,85 m. L'hypothèse de la question précédente était-elle valide ?

28 Accélérateur linéaire de particule et énergie

Les accélérateurs de particules sont constitués d'une succession de tubes disposés en ligne droite et placés sous vide. Les particules sont accélérées dans les cavités entre les tubes. Les tubes doivent donc changer de polarité d'où la présence d'un générateur alternatif synchronisé au passage des particules.



Données : tension $U_{AB} = V_A - V_B = 1,0 \times 10^2 \text{ kV}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, Énergie potentielle électrique $E_{p(\text{élec})} = q \cdot V + \text{cste}$

1. Par quel dispositif peut-on modéliser une cavité entre deux tubes chargés ?

2. a. On considère une particule de charge q traversant une cavité de longueur AB. Sous quelle forme d'énergie s'effectue le gain en énergie de la particule ? Décrire les transferts d'énergie.

- b. Déterminer la variation d'énergie d'une particule de charge q dans cette cavité où s'établit une tension U_{AB} .

3. a. À quelle(s) condition(s), le gain en énergie sera-t-il identique pour toutes les cavités ?

- b. Dans ces conditions et pour un dispositif de 12 tubes, calculer le gain en énergie pour un proton en eV. Puis en unité SI.

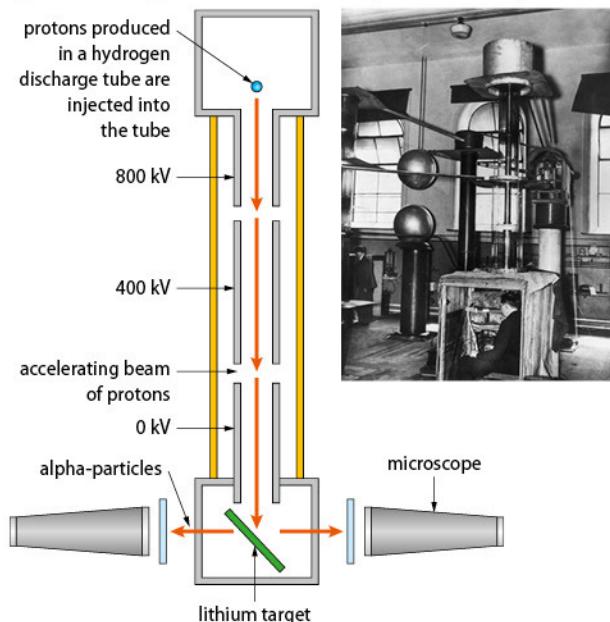
EXERCICES

29 The Cockcroft and Walton experiment

HISTOIRE DES SCIENCES



In 1932, John Cockcroft and Ernest Walton (Nobel prizes in Physics 1951) produced the first artificial splitting of a nucleus by bombarding lithium with artificially accelerated protons.



Data : $m = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$, $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

This was also the first transmutation using artificially accelerated particles. Transformers, rectifiers and capacitors were used to produce the necessary high d.c. voltage to accelerate the protons. Protons were accelerated into a vacuum and slammed into lithium atoms producing helium nuclei and energy. This reaction was the first experimental proof of Einstein's $E = mc^2$.

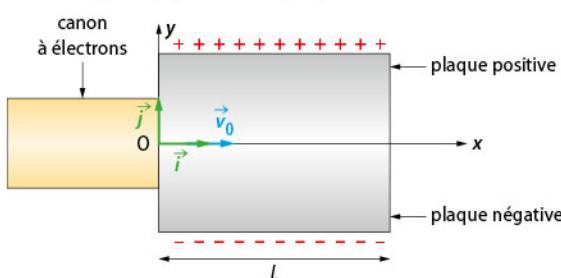
- What type of transformation is experimented here?
- Why are the protons accelerated in this apparatus? Explain the role of a vacuum.
- The gain in speed for a proton initially at rest is roughly $1,2 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Calculate the voltage used to reach this speed.

30 L'expérience de Thomson

HISTOIRE DES SCIENCES



Dès 1897, le physicien anglais John J. Thomson fut le premier à déterminer le rapport e/m (charge électrique sur masse de l'électron) grâce à un tube à vide. Le montage schématisé ci-dessous en reprend le principe : il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié lors de sa traversée entre deux plaques de charges opposées. À la sortie des plaques en $x=L$, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) est mesurée sur un écran.



Données :

Grandeur	Valeur	Incertitude-type
v_0	$2,27 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$0,02 \times 10^7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
E	$15,0 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$	$0,1 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$
L	8,50 cm	0,05 cm
h	1,85 cm	0,05 cm

L'incertitude du rapport $\frac{e}{m}$ s'exprime par la formule :

$$u\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m} \sqrt{\left(\frac{u(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{u(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{u(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{u(L)}{L}\right)^2}$$

Valeur de référence $\frac{e}{m} = 1,75882 \times 10^{11} \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1}$.

- Montrer que le mouvement de l'électron est plan et que la courbe décrite par les électrons admet pour équation : $y = \frac{eE}{2mv_0^2} x^2$
- En déduire l'expression du rapport $\frac{e}{m}$ en fonction de E , L , h et v_0 . Calculer le rapport $\frac{e}{m}$ mesuré.
- Calculer l'incertitude-type $u\left(\frac{e}{m}\right)$ associée à la mesure.
- Comparer le résultat de la mesure à la valeur de référence. Conclure.

À L'ORAL

31 Accélérateurs de particules



En 2017, le CERN a inauguré un nouvel accélérateur de particules LINAC4. D'autres accélérateurs linéaires sont utilisés en milieu hospitalier (photo).

Élaborer un exposé oral permettant d'expliquer les types de particules présentes dans ces accélérateurs linéaires ainsi que leur rôle en médecine et en recherche.

32 RETOUR SUR LA PAGE D'OUVERTURE

Durant le vol parabolique d'un avion, l'agence spatiale européenne ESA réalise des expériences scientifiques en état de micropesanteur.

Sachant que le mouvement de l'avion s'effectue dans le champ de pesanteur terrestre, préparer un exposé oral qui explique cet état de micropesanteur en vol.



Développer ses compétences

33 Spectromètre de masse « à temps de vol »

ANALYSE ET SYNTHÈSE DES DOCUMENTS



(ANA/RAI) Choisir un modèle ou des lois pertinentes

Le mouvement des particules chargées dans un champ uniforme peut servir à leur identification.

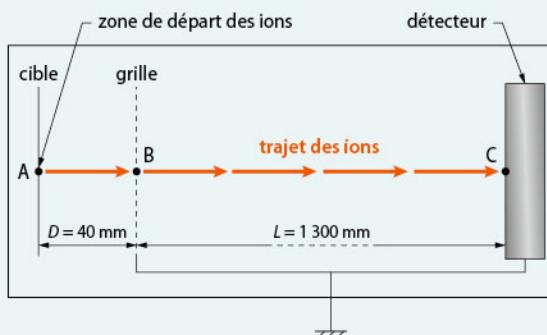
DOC 1 Principe de la spectrométrie de masse

La spectrométrie de masse est une technique d'analyse chimique destructive. Une molécule à analyser est fragmentée en différentes parties dont chacune des masses molaires est déterminée directement ou indirectement. L'accès à la masse puis à la structure des différents fragments permet de reconstituer la molécule à analyser à la manière d'un puzzle et de l'identifier. Cette analyse doit être complétée par d'autres techniques d'analyse.

DOC 3 Géométrie du spectromètre

Une tension U s'applique entre la cible et la grille métalliques qui sont distantes de D formant un condensateur plan. La valeur E du champ électrique est reliée à U par la relation : $E = \frac{U}{D}$ où D représente la distance entre la cible et la grille.

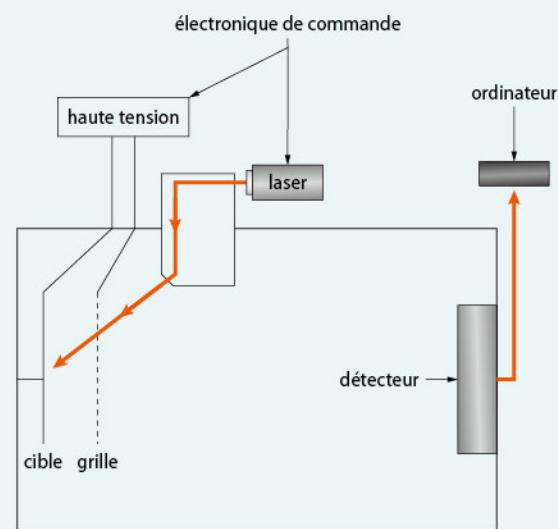
Après la grille, les fragments ionisés traversent une zone sans champ électrique de longueur L et arrivent jusqu'au détecteur qui repère les entités chargées.



DOC 2 Spectromètre à temps de vol

Dans un spectromètre de masse à temps de vol, les molécules à analyser sont placées sur une cible. Puis, un faisceau laser pulvérise les molécules en de nombreux fragments ionisés notés F_i^+ . Ces fragments sont de masses différentes. Ils sont alors accélérés par un champ électrique. Enfin, en « fin de vol » ils sont détectés.

Le schéma d'un spectromètre à temps de vol peut être simplifié comme sur la figure ci-dessous.



DONNÉES

- ▶ Charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- ▶ Intensité de la pesanteur $g = 9,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

ANALYSE

1. a. Représenter sur le schéma du document 3, sans souci d'échelle, la force électrique \vec{F}_e qui s'exerce sur un fragment ionisé F_i^+ situé au point A, pour qu'il soit accéléré de la cible jusqu'à la grille située au point B.
- b. En déduire la direction et le sens du champ électrique \vec{E} supposé uniforme, qui règne entre la cible et la grille. De quelles grandeurs physiques va dépendre le champ électrique situé entre la cible et la grille ?
2. Montrer que la vitesse v du fragment ionisé F_i^+ au niveau de la grille s'écrit :

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$$

Calculer la valeur de la vitesse v pour une valeur de tension appliquée U égale à 20 kV, sachant que la masse du fragment ionisé vaut $m = 7,1 \times 10^{-26} \text{ kg}$.

3. Montrer que le mouvement du fragment F_i^+ dans la zone entre la grille et le détecteur est rectiligne uniforme.

4. On appelle « temps de vol » la durée du parcours du fragment ionisé entre la cible et le détecteur. Montrer que le « temps de vol » s'écrit :

$$\Delta t = D \cdot \sqrt{\frac{2m}{eU}} + L \cdot \sqrt{\frac{m}{2eU}}$$

Calculer le temps de vol.

SYNTHÈSE

Comment les différents fragments de molécules peuvent-ils être identifiés par un unique détecteur à ions ?

34 Service et réception au volley-ball

RÉSOLUTION DE PROBLÈME

(ANA/RAI) Choisir un modèle ou des lois pertinentes

L'étude du mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme permet d'analyser différentes phases du jeu au volley-ball.



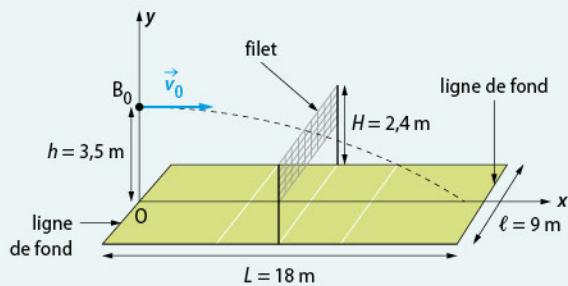
DOC 1 Trajectoire de la balle au service



Après la course d'élan, le serveur saute de façon à frapper le ballon en un point B_0 situé à la hauteur h au-dessus de la ligne de fond du terrain. La hauteur h désigne alors l'altitude initiale du centre du ballon. Le vecteur vitesse initiale du ballon est horizontal et perpendiculaire à la ligne de fond du terrain. Le service sera considéré comme valide à condition que le ballon franchisse le filet sans le toucher et qu'il retombe dans le terrain adverse.

DONNÉES

- Le ballon de volley-ball a une masse $m = 260 \text{ g}$ et un rayon $r = 10 \text{ cm}$
- Intensité du champ de pesanteur : $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$



DOC 2 La réception

Au moment où le joueur frappe le ballon, un joueur de l'équipe adverse est placé au niveau de la ligne de fond de son terrain. Il débute sa course vers l'avant pour réceptionner le ballon en réalisant une « manchette » comme le montre la photo ci-dessous. Le contact entre le ballon et le joueur se fait au point R situé à une hauteur de 80 cm au-dessus du sol.



QUESTIONS PRÉLIMINAIRES

1. Le mouvement du centre de masse du ballon est étudié muni du repère $(O ; x ; y)$ et l'instant de la frappe est choisi comme origine des temps : $t = 0 \text{ s}$. Le service est effectué depuis le point B_0 à la vitesse $v_0 = 21,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
 - a. Établir l'expression du vecteur accélération du centre du ballon après la frappe.
 - b. Établir les équations horaires du mouvement du centre de masse du ballon et montrer que le mouvement est plan.

- c. En déduire que l'équation de la trajectoire du ballon reliant ses coordonnées x_B et y_B s'écrit :

$$y_B(x) = -\frac{g}{2v_0^2}x_B^2 + h$$

2. La vitesse moyenne du déplacement du receveur est notée v_j . Exprimer en fonction de L , v_j et l l'équation horaire $x_j(t)$ du joueur receveur qui se déplace pour atteindre la position photographiée dans le document 2.

PROBLÉMATIQUE

Le service proposé ici sera-t-il valide ?

Si oui, le receveur dans les conditions du document 2 pourra-t-il rattraper le ballon de façon réaliste ?



35 Saut à ski DÉMARCHE DIFFÉRENCIÉE

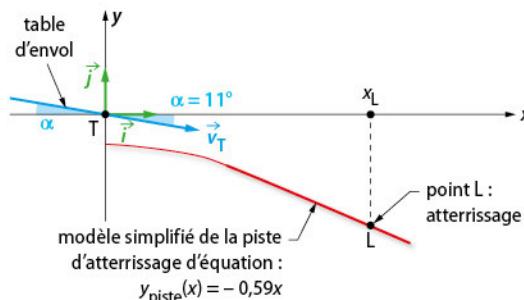
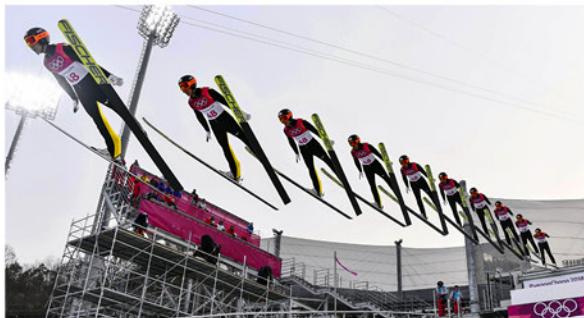
COM Présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente

Un sauteur, assimilé à un point matériel, s'élance du tremplin au point T.

La piste d'atterrissement est modélisée par une droite d'équation $y = -0,59x$.

Le jour de l'épreuve, il atterrit au point L = 113 m qui correspond à l'abscisse $x_L = 97$ m.

Donnée : intensité de la pesanteur $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$; $v_T = 83,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$



DÉMARCHE EXPERTE

Le modèle de la chute libre est-il adapté pour décrire le mouvement du sauteur ?

DÉMARCHE AVANCÉE

1. Dans le repère ($T ; x, y, z$), établir l'expression du vecteur accélération du sauteur au cours du mouvement en négligeant l'action de l'air.

2. Montrer, en détaillant chaque étape de votre raisonnement, que les équations horaires du centre de masse du sauteur s'écrivent :

$$\begin{cases} x(t) = v_T \cdot \cos \alpha \cdot t \\ y(t) = \frac{-g_0}{2} \cdot t^2 - v_T \cdot \sin \alpha \cdot t \end{cases}$$

3. En déduire que l'équation de la trajectoire s'écrit :

$$y(x) = -9,5 \times 10^{-3} x^2 - 1,9 \times 10^{-1} x$$

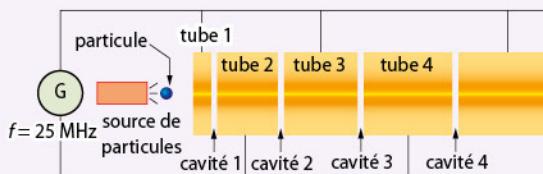
4. a. En déduire l'abscisse du point d'atterrissement x_L si on néglige l'action de l'air.

b. Conclure sur le type d'action exercée par l'air lors du saut.

VERS LE SUP'

36 Accélérateur linéaire de particules chargées

Les accélérateurs linéaires de particules sont constitués d'une succession de tubes disposés en ligne droite et placés sous vide. Les tubes sont alternativement chargés positivement et négativement pour qu'une particule chargée, en passant au tube suivant, soit soumise à un champ électrique accélérateur. À l'intérieur d'un tube chargé traversé par la particule, le champ électrique est nul. Par contre, il est maximal dans les cavités traversées par les particules entre les tubes.



Données : énergie potentielle électrique $E_{\text{p(élec)}} = q \cdot V$, $E = 100 \text{ kV} \cdot \text{m}^{-1}$, $U_{AB} = E \cdot d$, fréquence du générateur $f = 25 \text{ MHz}$, charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, masse $m = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

1. Justifier que le mouvement des particules chargées est rectiligne uniforme à l'intérieur des tubes. Où sont situées les zones d'accélération ?

2. À l'instant t_1 , un proton se présente à la sortie du tube 1 devant la première cavité accélératrice de longueur $AB = 2,0 \text{ cm}$. Sa vitesse v_A est négligeable.

a. Quel doit être le signe de la charge du tube 1 à cet instant ? Celui du tube 2 ?

b. Reproduire sur un schéma la première cavité et représenter le champ électrique \vec{E} et la force électrique \vec{F}_e qui modélise l'action mécanique exercée sur le proton.

c. Exprimer le travail de la force électrique qui s'exerce entre A et B en fonction de E , AB et e . Justifier que ce travail est maximal.

d. Exploiter le théorème de l'énergie cinétique pour montrer que $v_B = \sqrt{\frac{2eU_{AB}}{m}}$. Calculer v_B .

3. Le proton arrive à l'instant t_2 , à la sortie du tube 2 devant la cavité accélératrice suivante.

a. Quel doit être le signe des charges électriques portées par le tube 2 à cet instant ? Pourquoi le générateur de tension est-il alternatif ?

b. Exprimer en fonction de la période T de la tension, la durée du trajet du proton dans le tube 2 de longueur ℓ_2 . En déduire la relation entre f , v_2 et ℓ_2 . Calculer ℓ_2 .

c. Pourquoi les tubes sont-ils de plus en plus longs ?

Lancer d'un ballon de basket



Contexte

L'objectif est de modéliser la trajectoire d'un ballon de basket au cours du temps, de déterminer les paramètres de lancement du ballon et enfin d'utiliser le modèle pour prédire si le ballon passera ou non à travers le panier.

Documents mis à disposition

➤ VIDÉO

Lancer au basket



vidéo



Extrait de la vidéo

Voici une image extraite d'une vidéo montrant un lancer au basket.

On cherche à déterminer les paramètres de lancement du ballon avec précision et prédire si le lancer sera ou non réussi.

Dans le repère $(O ; x, y)$, l'origine O correspond au centre de masse du ballon au moment du lancer. Dans ce repère, le panier de basket est à une altitude 0,53 m et une abscisse comprise entre 3,50 m et 3,95 m (par rapport à la position initiale du ballon).

Données : La distance entre la ligne du lanceur et le cercle dessiné au sol sous le premier est de 3,00 m. Le rayon du ballon est de 0,12 m ; intensité de la pesanteur $g_0 = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Matériel mis à disposition

- Une « calculette type « collège » ou un ordinateur avec fonction « calculatrice »
- Un ordinateur muni d'un tableur grapheur
- Une vidéo tronquée du lancer franc.

Travail à effectuer

1. (AN/RAD) Proposition de protocole expérimental (10 min conseillées)

1. Visualiser la vidéo tronquée présentant le début du mouvement.
2. Proposer un protocole expérimental pour modéliser le mouvement du ballon au cours du temps.



Être en mesure de présenter le protocole

2. (RÉA) Mise en œuvre du protocole expérimental proposé (20 min conseillées)

1. Mettre en œuvre le protocole et effectuer l'acquisition des positions du ballon au cours du temps.
2. Représenter puis modéliser la courbe expérimentale de la trajectoire.



Être en mesure de présenter l'acquisition informatisée

3. (VAL) Exploitation du résultat obtenu (30 min conseillées)

1. Montrer que dans l'hypothèse où l'action de l'air est négligeable, le mouvement du ballon peut être décrit par un arc de parabole d'équation : $y(x) = \frac{-g_0}{2 \times v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan \alpha$ où v_0 correspond à la valeur de la vitesse de lancement du ballon et α l'angle que forme le vecteur vitesse avec l'horizontale.
2. Confronter la modélisation aux résultats expérimentaux pour tester sa validité.
3. Déduire de la modélisation, les valeurs de v_0 en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et de α en degré, paramètres de lancement du ballon.
4. Déterminer si le lancer sera réussi.
5. Identifier une source d'incertitude possible dans les mesures réalisées.

Défaire le montage et ranger la paillasse.

UNE QUESTION

Comment un joueur de rugby peut-il anticiper la position du ballon ?

Enjeu de la question

Une meilleure compréhension de ce phénomène permettrait d'améliorer les performances sportives et de développer de nouveaux dispositifs automatiques de protection contre les projectiles.

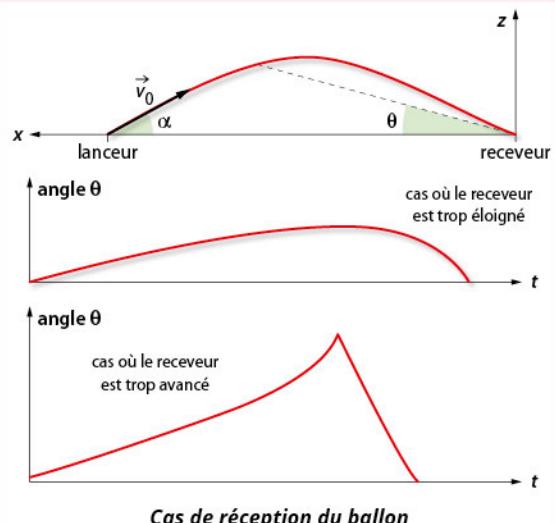
Proposition de plan de présentation

1. Un mouvement prévisible ? Mouvement d'un système assimilé à un point matériel en chute libre
2. Cas d'un jeu en conditions réelles : force de frottement, conditions climatiques... Hypothèse(s) à reformuler.
3. Une solution adoptée par les joueurs... et les animaux. Discussion selon l'évolution de l'angle θ formé par le receveur, le ballon et l'horizontale.
4. Ouverture-application à des dispositifs automatisés

Les mots-clés

lois de Newton ▶ mouvement dans un champ uniforme
▶ courbes paraboliques

Exemple de support de présentation



QUESTIONS D'APPROFONDISSEMENT POSSIBLES

De quoi dépendent les forces de frottement ? Comment influent-elles sur le mouvement ?

De quoi dépend la portée du dégagement ? Qu'appelle-t-on la flèche de la trajectoire ?

Quelle forme géométrique aurait une zone de sûreté pour se protéger d'un projectile lancé à une vitesse v_0 ?

Que se passe-t-il lorsque le receveur n'est pas dans le plan du mouvement du ballon ?

À propos de la prévision d'un mouvement

Qu'est-ce que l'effet Magnus ?

UN EXEMPLE DE PROJET PROFESSIONNEL

Les métiers relatifs à la pratique sportive sont des métiers d'avenir : Paris organise les jeux olympiques en 2024. Pour travailler dans ce domaine, des formations sont proposées à l'université ou par le ministère des Sports.

Après le bac : Niveau Bac : brevet professionnel de la jeunesse, de l'éducation populaire et du sport ; Bac + 3 : licence STAPS (sciences et techniques des activités physiques et sportives).

Autres métiers : Journaliste sportif, médecin du sport, kinésithérapeute du sport, diététicien, professeur d'EPS...

L'**éditeur sportif** initie ou entraîne des publics variés dans une ou plusieurs disciplines. Son champ d'activité dépend de ses qualifications et de son cadre d'exercice. Beaucoup exercent dans les clubs sportifs et cumulent plusieurs emplois ou exercent parallèlement une autre activité professionnelle, sportive ou toute autre.

