Thème 2 : Mouvements et interactions

Partie 2. Relier les forces appliquées à un système à son mouvement

CHAP 13-EXOS Mouvement dans un champ uniforme

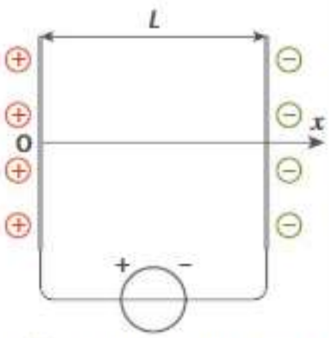
EXOS en autonomie : QCM p. 357/ER p. 358 à 361/EC n°22*-26*-31*et 35*

EXERCICES p. 362 et suiv. : n° 23 à 29-38-39-41 ab-43-(46)-50+type BAC n° 55

22 On considère le condensateur plan schématisé ci-contre.

La tension appliquée sur ce condensateur est $U = 4{,}0$ kV et la distance entre les armatures est $L = 2{,}5$ cm.

On introduit un proton en O, sur l'armature positive, sans vitesse initiale.



On étudie ce proton dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen.

Données

- Masse du proton : $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg
- Charge électrique du proton : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C

1. a. Montrer que la norme du champ électrique $\vec{E}$ engendré est $E = 1{,}6 \times 10^5$ V·m^{-1}.

b. Reproduire le schéma et représenter la tension U et le vecteur champ électrique $\vec{E}$. Préciser l'échelle.

c. Que vaudrait E si U était triplée ?

d. Que vaudrait E si L était triplée ?

2. a. Montrer que la norme de la force électrique $\vec{F}$ subie par le proton est $F = 2{,}6 \times 10^{-14}$ N.

b. Calculer la norme du poids du proton.

c. En calculant le quotient de ces deux normes, justifier que, dans ce cas, le poids soit négligé.

d. Représenter $\vec{F}$ en précisant l'échelle utilisée.

3. a. Montrer que la norme de l'accélération du proton est $a = 1{,}5 \times 10^{13}$ m·s^{-2}.

b. Montrer que les équations horaires de la vitesse et de la position sont :

$$v_x(t) = \frac{e}{m}Et \quad \text{et} \quad x(t) = \frac{e}{2m}Et^2$$

c. Montrer que lorsque le proton arrive en $x = L$, sa vitesse a pour norme $v = 8{,}8 \times 10^5$ m·s^{-1}.

4. a. Expliquer pourquoi l'énergie cinétique du proton est nulle à l'instant initial.

b. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, montrer qu'à l'armature négative, le proton a une énergie cinétique égale à eU.

c. Retrouver la valeur de la vitesse calculée à la question 3c.

23 Deux armatures métalliques parallèles sont séparées de $L = 1{,}5$ cm et soumises à une tension $U = 300$ V.
Un ion sulfate est introduit sans vitesse initiale au niveau de l'armature négative.

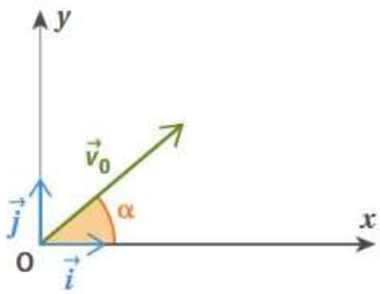
Données

- Formule de l'ion sulfate : SO_4^{2-}
- Masse de l'ion sulfate : $m = 1{,}60 \times 10^{-25}$ kg
- Charge électrique de l'ion sulfate : $q = -3{,}20 \times 10^{-19}$ C

■ Reprendre, en les adaptant, les questions de l'exercice précédent pour l'étude du mouvement de l'ion sulfate.

Pour les exercices 24 à 27, on considère un projectile de masse $m = 4{,}50$ kg, modélisé par un point M, lancé dans le champ de pesanteur $\vec{g}$ uniforme, de norme $g = 9{,}81$ N·kg^{-1}.

Sa vitesse initiale $\vec{v}_0$ a pour norme $v_0 = 4{,}80$ m·s^{-1} et forme un angle $\alpha = 40°$ au-dessus de l'horizontale. On étudie le projectile dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Toute action de l'air est négligée.



24 Au tableau

a. Montrer que les coordonnées du vecteur $\vec{v}_0$ sont :

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0\cos(\alpha) \\ v_{0y} = v_0\sin(\alpha) \end{cases}$$

b. Calculer les énergies cinétique, potentielle de pesanteur et mécanique de l'objet à l'instant initial.

c. Justifier que l'énergie mécanique du projectile est conservée au cours de son mouvement.

d. En déduire qu'à l'altitude y, sa vitesse s'écrit :

$$v = \sqrt{v_0{}^2 - 2gy}$$

Calculer sa valeur pour $y = 15$ cm.

25 Démontrer et appliquer le cours

Montrer que les équations horaires de la vitesse et de la position de l'objet sont :

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

$$\overrightarrow{OM}\begin{cases} x(t) = v_0\cos(\alpha)t \\ y(t) = -\dfrac{1}{2}gt^2 + v_0\sin(\alpha)t \end{cases}$$

26 La flèche de la trajectoire est l'altitude maximale atteinte par le projectile.

Au sommet de la trajectoire, $v_y(t) = 0$.

1. Utiliser les équations horaires ci-dessus pour :

a. déterminer l'instant t_S d'arrivée au sommet ;

b. montrer que la flèche s'écrit $y_S = \dfrac{v_0{}^2\sin^2(\alpha)}{2g}$.

2. Calculer t_S et y_S.

27 **a.** À partir des équations horaires de la position du projectile, montrer que l'équation de sa trajectoire est :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0{}^2\cos^2(\alpha)} + \tan(\alpha)x$$

b. Montrer alors que la portée du tir, c'est-à-dire la distance horizontale parcourue lorsque le projectile revient à son altitude de lancer, s'écrit : $x_P = \dfrac{2v_0{}^2\cos(\alpha)\sin(\alpha)}{g}$

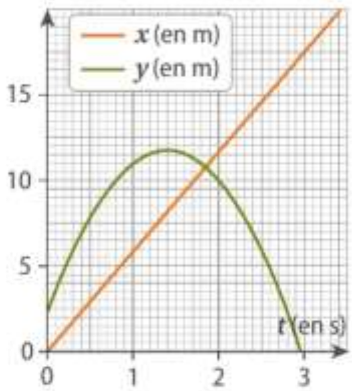
Calculer sa valeur.

28 Un tir

Utiliser ses connaissances • Exploiter un graphique

Les coordonnées $(x\,;\,y)$ d'un point en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme sont données ci-contre.

L'axe (Oy) est vertical vers le haut, d'origine le niveau du sol.



a. Déterminer les coordonnées de la position initiale du point.

b. Déterminer l'instant d'arrivée au sommet de la trajectoire et la hauteur atteinte à cet instant.

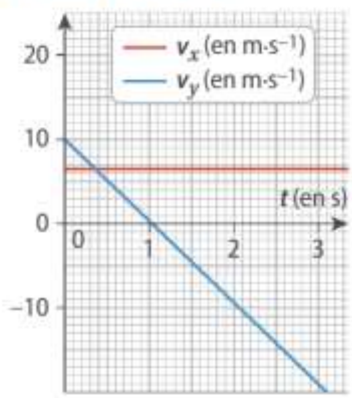
c. Déterminer l'instant d'arrivée au sol et la distance horizontale parcourue à cet instant.

29 Vitesse d'un projectile

Utiliser ses connaissances • Exploiter un graphique

Les coordonnées $(v_x\,;\,v_y)$ de la vitesse d'un point en mouvement dans le champ de pesanteur uniforme sont données ci-contre.

L'axe (Oy) est vertical vers le haut.



a. Déterminer les coordonnées de la vitesse initiale $\vec{v}_0$ du point.

b. En déduire sa norme v_0 puis la valeur de l'angle de tir α au-dessus de l'horizontale.

c. Déterminer l'instant d'arrivée au sommet de la trajectoire et la norme de la vitesse à cet instant.

38 Chute libre sans parachute

Utiliser un modèle • Faire preuve d'esprit critique

Le 30 juillet 2016, le cascadeur Luke Aikins (de masse $m = 75{,}0$ kg) a effectué un saut sans parachute depuis une altitude de 7 620 m. Il s'est laissé tomber sans vitesse initiale. Après $\Delta t = 120$ s de chute, il a été réceptionné par un filet à 76 mètres du sol. Sa vitesse était alors de $53{,}6\ \text{m·s}^{-1}$.

On étudie le cascadeur modélisé par son centre de masse dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

a. En supposant qu'il ne subit que son poids, déterminer les équations horaires de sa vitesse et de sa position.

b. Montrer que sa chute dure $t_1 = 39{,}2$ s.
En déduire la norme de sa vitesse finale.

c. Retrouver cette valeur en utilisant l'énergie mécanique.

d. Comparer t_1 avec Δt, et la norme de la vitesse calculée avec celle donnée dans l'énoncé. Quelle hypothèse est fausse pour des chutes aussi hautes ?

43 Accélération de protons

Histoire des sciences

Utiliser ses connaissances • Utiliser un modèle

L'un des premiers accélérateurs de particules utilisait un générateur de Van de Graaff pour charger les armatures d'un condensateur plan avec une tension $U = 4{,}0$ MV.

La distance entre les armatures de l'accélérateur était $L = 7{,}62$ m.

Cet accélérateur permettait d'accélérer des protons, introduits en A sans vitesse initiale dans l'accélérateur.

Cette « baguette magique » électrostatique utilise aussi un générateur de Van de Graaff pour créer un champ électrique.

Données

- Masse d'un proton : $m = 1{,}67 \times 10^{-27}$ kg
- Charge électrique d'un proton : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C

a. Laquelle des armatures est reliée à la borne positive du générateur : A ou B ?

b. Déterminer la norme du champ électrique $\vec{E}$ produit dans ce condensateur plan, puis celle de la force électrique $\vec{F}$ subie par un proton.

c. Recopier le schéma en représentant $\vec{E}$ et $\vec{F}$ en spécifiant les échelles utilisées.

d. Déterminer les équations horaires de la vitesse et de la position d'un proton.

e. En déduire la vitesse atteinte en B par le proton.
Dépend-elle de la distance entre les armatures ?

f. Retrouver le résultat de la question précédente en utilisant une approche énergétique.

39 Au-dessus du canal de Corinthe

Utiliser ses connaissances • Utiliser un modèle

En 2010, le cascadeur australien Robbie Maddison a franchi à moto le canal de Corinthe avec un saut historique de 85,0 m de longueur.

Un tremplin lui a permis de se propulser avec une vitesse $\vec{v}_0$ dont l'angle au-dessus de l'horizontale est $\alpha = 35{,}0°$. Son atterrissage a eu lieu sur une plateforme située à une altitude $h = 2{,}00$ m au-dessus du niveau du tremplin.

On étudie le cascadeur et sa moto, modélisés par un point M, dans le référentiel terrestre supposé galiléen. On utilisera un repère $(O\,;x, y)$ dont l'origine O est le point d'envol du système.

a. Exprimer les coordonnées de $\vec{v}_0$.

b. Déterminer les équations horaires de la vitesse et de la position de M.

c. Quelles sont les coordonnées $(x_f\,; y_f)$ du système au moment de l'atterrissage ?

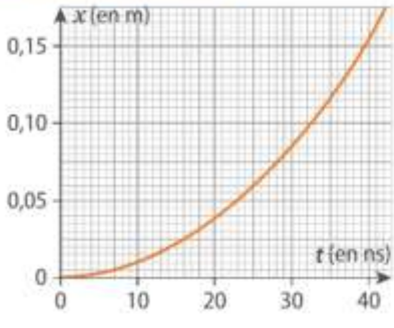
d. En déduire que la norme de la vitesse initiale est $v_0 = 30{,}3\ \text{m·s}^{-1}$. L'exprimer en km·h^{-1}.

41 Appliquer le cours

Exploiter un graphique • Utiliser un modèle

Un ion aluminium Al^{3+} est accéléré dans un condensateur plan.

Le graphique ci-contre montre la distance x parcourue par l'ion en fonction du temps t.



Donnée

Masse d'un ion aluminium : $m = 4{,}49 \times 10^{-26}$ kg

À l'aide du graphique et des relations obtenues dans le cours, déterminer :

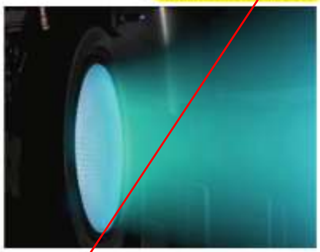
a. la vitesse initiale de l'ion ;

b. sa vitesse en sortie du condensateur (à $x = 15$ cm) ;

46 Moteur ionique

Utiliser ses connaissances • Utiliser un modèle

Vidéo
La propulsion électrique
hatier-clic.fr/pct366



Bien que de poussée très faible, les moteurs ioniques ont un très grand avenir dans le domaine spatial car leur rendement est dix fois plus élevé qu'un moteur chimique classique.
Dans un moteur ionique, des atomes de xénons Xe (de masse $m = 2{,}18 \times 10^{-25}$ kg) sont ionisés pour devenir des ions Xe^+, qui sont ensuite accélérés par une tension U.
À la sortie de cet accélérateur, que l'on peut modéliser par un condensateur plan, un ion Xe^+ a une vitesse de norme proche de 50 km·s^{-1}. Le moteur NEXT (*Nasa Evolutionary Xenon Thruster*) permet de générer un flux d'ions xénon d'intensité $I = 3{,}52$ A.

a. Déterminer l'énergie cinétique d'un ion xénon à la sortie du moteur.

b. Déterminer la tension nécessaire à cette accélération.

c. Déterminer le nombre d'ions xénon émis par seconde pour obtenir une intensité $I = 3{,}52$ A.

Rappel
L'intensité correspond au débit de charge électrique (en coulombs) par unité de temps (en secondes) : $I = \frac{Q}{\Delta t}$

d. Déterminer l'énergie cinétique de l'ensemble des ions xénon émis, en une seconde, par le moteur.
Déduire la puissance mécanique délivrée par le moteur ionique.

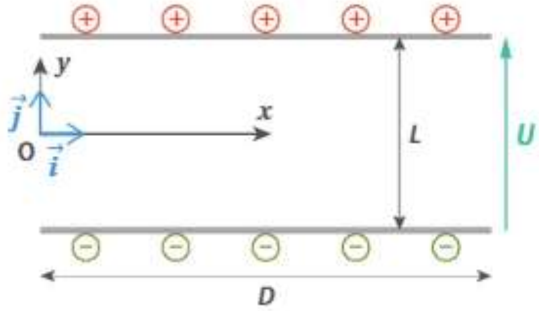
50 Détermination de la masse de l'électron

Utiliser un modèle • Exploiter un énoncé

À la fin du XIX^e siècle, les premières déterminations de la masse de l'électron utilisaient la déviation d'un faisceau d'électrons dans un champ électrique.

On considère un condensateur plan dont les armatures sont distantes de $L = 4{,}00$ cm et longues de $D = 10{,}0$ cm. On leur impose une tension $U = 400$ V.

Un électron, de masse m, pénètre au point O équidistant des plaques avec une vitesse $\vec{v}_0$ parallèle aux armatures, de norme $v_0 = 2{,}50 \times 10^7$ m·s^{-1}.



a. Reproduire le schéma et ajouter le champ électrique $\vec{E}$ engendré par le condensateur.

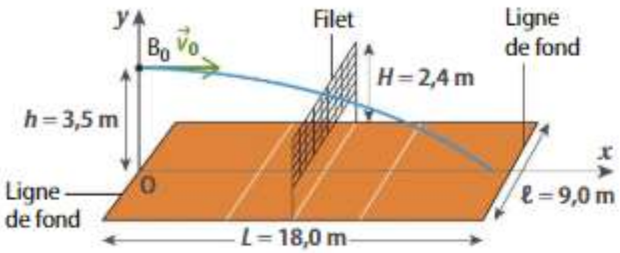
b. En négligeant le poids de l'électron devant la force électrique qu'il subit, montrer que l'équation de la trajectoire est $y(x) = \frac{eU}{2mL}\frac{x^2}{{v_0}^2}$.

c. L'ordonnée de l'électron au moment de sa sortie du condensateur est $y_S = 14$ mm. En déduire une valeur du quotient $\frac{e}{m}$, puis de la masse m de l'électron. La comparer avec la valeur aujourd'hui admise $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg.

55 Service et réception au volley-ball

Au volley-ball, le service smashé est le type de service pratiqué le plus fréquemment par les professionnels : le serveur doit se placer un peu après la limite du terrain, lancer très haut son ballon, effectuer une petite course d'élan, puis sauter pour frapper la balle.

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 $\vec{v}_0$ du ballon est horizontal et perpendiculaire à la ligne de fond du terrain.



Le mouvement du ballon est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen muni du repère (Ox, Oy) et l'instant de la frappe est choisi comme origine des temps : $t = 0$ s. Le mouvement a lieu dans le plan (Oxy).

Le but de cet exercice est de vérifier la validité du service et d'étudier la réception du service par un joueur de l'équipe adverse. Pour cela, on étudie le mouvement du centre du ballon sans tenir compte de l'action de l'air, de la rotation du ballon sur lui-même et de ses déformations.

Données

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

Le service est effectué depuis le point B_0 à la vitesse $v_0 = 21{,}0\ \text{m·s}^{-1}$. 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.

1. Montrer que, si on néglige l'action de l'air, les coordonnées du vecteur accélération du centre du ballon après la frappe sont : $a_x(t) = 0$ et $a_y(t) = -g$

2. Établir que les équations horaires du mouvement du centre du ballon s'écrivent :

$$x(t) = v_0 t \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{gt^2}{2} + h$$

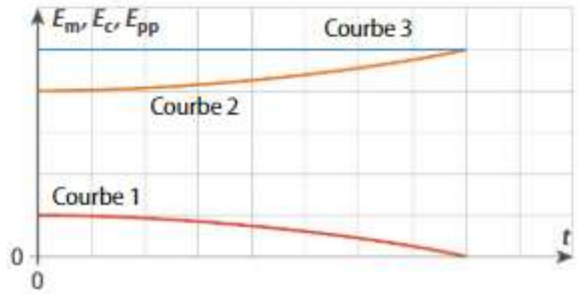
En déduire que l'équation de la trajectoire reliant x et y s'écrit : $y(x) = -\dfrac{g}{2{v_0}^2}x^2 + h$

3. En admettant que le ballon franchisse le filet, vérifier qu'il touche le sol avant la ligne de fond.

4. Afin de déterminer la vitesse du ballon au moment où il touche le sol, on effectue une étude énergétique. L'origine de l'énergie potentielle de pesanteur est choisie ainsi : $E_{pp} = 0$ J pour $y = 0$ m.

4.1. Rappeler les expressions des énergies cinétique E_c, potentielle de pesanteur E_{pp} et mécanique E_m du ballon en un point quelconque de la trajectoire.

4.2. Le graphique de la figure suivante représente l'évolution temporelle de ces trois énergies. Associer à chaque courbe son énergie. Justifier.



4.3. À l'aide de l'étude énergétique précédente, déterminer la valeur de la vitesse du centre du ballon v_{sol} lorsque le ballon touche le sol.

5. En réalité, la vitesse v_{sol} avec laquelle le ballon atteint le sol est plus faible que celle déterminée à la question précédente. Proposer une explication.

6. Au moment où le joueur frappe le ballon ($t = 0$ s), 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 ».

D'après http://lesportsdauphinois.com

Le contact entre le ballon et le joueur se fait au point R à une hauteur de 80 cm au-dessus du sol.

Évaluer la vitesse moyenne minimale du déplacement de ce joueur pour qu'il réalise la réception. Ce résultat semble-t-il réaliste ?

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche même si elle n'a pas abouti.

Adapté du sujet de Bac Métropole, 2018.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1. Utiliser et mentionner la deuxième loi de Newton.

2. Détailler la recherche de primitive et l'utilisation des conditions initiales fournies par l'énoncé.

3. Traduire mathématiquement la condition donnée.

6. L'équation horaire $y(t)$ permet d'obtenir l'instant auquel le ballon parvient à $y_R = 80$ cm. On peut en déduire la position horizontale du ballon à cet instant, puis la distance à parcourir par le joueur adverse.