TS3 - Physique-Chimie
Devoir en classe n°5 - Durée : 2h
Vendredi 26 janvier 2018

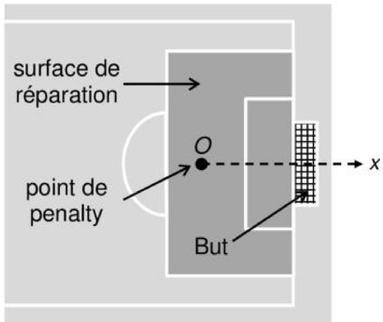
EXERCICE I : LES TIRS AU BUT (8 points)

Antonin PANENKA, footballeur international tchécoslovaque, est connu pour avoir laissé son nom à une technique particulière pour tirer des pénaltys ou « tirs au but ». Au lieu de frapper en force, il frappe doucement le ballon qui prend alors une trajectoire en « cloche ». Son geste est devenu célèbre au soir de la finale de la Coupe d'Europe des Nations de 1976 où la Tchécoslovaquie battait la République Fédérale d'Allemagne tenante du titre. Antonin PANENKA a marqué le dernier pénalty par cette technique de balle « en cloche » : il venait d'inventer la « Panenka ».

Lors d'un match de football, un joueur doit marquer un pénalty et décide de tenter une « Panenka ». Le joueur dépose le ballon au point de pénalty O, pris comme origine du repère. Le joueur tape le ballon en direction du centre du but et lui communique une vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ de valeur $11,5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et dont la direction fait un angle $\alpha = 55°$ avec l'horizontale.

Données :

- intensité de la pesanteur : $g = 9,81\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$;
- masse du ballon : $m = 620$ g ;
- termes utilisés dans la pratique du football : voir ci-dessous



Termes utilisés dans la pratique du football :

Les buts : *ils sont constitués de deux montants verticaux (poteaux) reliés en leur sommet par une barre transversale. Le bord inférieur de la barre transversale se situe à une hauteur de 2,44 m par rapport au sol.*

Le pénalty : *le pénalty est une action consistant à frapper directement au but depuis un point nommé « point de pénalty » ou « point de réparation ». Un pénalty est réussi si le ballon franchit la ligne de buts en passant entre les montants et sous la barre transversale.*

La surface de réparation : *à l'intérieur de chaque surface de réparation, le point de pénalty est marqué à 11,0 m du milieu de la ligne de but et à égale distance des montants verticaux du but.*

1. Schématisation du problème

1.1. Tracer un repère orthonormé (Ox, Oz) et représenter, dans ce repère, la situation du pénalty, sans souci d'échelle. Les grandeurs suivantes devront apparaître : le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$, l'angle α, la hauteur h des buts et la distance d du point de pénalty à la ligne de but.

1.2. *On note A le point où se situe le ballon lorsqu'il franchit la ligne de but.* Quelles conditions doivent vérifier les coordonnées $(x_A ; z_A)$ de ce point pour que le pénalty soit réussi ?

2. Étude dynamique du mouvement du ballon

Dans cette partie, on étudie le mouvement du centre d'inertie G du ballon en négligeant les forces de frottement de l'air sur le ballon ainsi que la poussée d'Archimède.

2.1. Établir l'expression du vecteur accélération $\overrightarrow{a_G}$ du centre d'inertie du ballon.

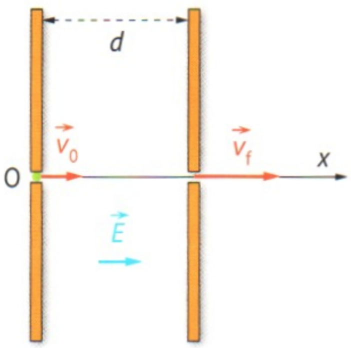
2.2. Établir les équations horaires $x(t)$ et $z(t)$ du mouvement du centre d'inertie G et montrer que l'équation de la trajectoire du ballon, dans le plan (xOz), peut s'écrire : $\boldsymbol{z(x) = -\dfrac{g \cdot x^2}{2 \cdot {v_0}^2 \cdot (\cos\alpha)^2} + (\tan\alpha) \cdot x}$

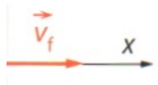
2.3. En exploitant les données et les documents, déterminer si le pénalty décrit en début d'exercice est réussi ou non. Expliciter votre raisonnement.

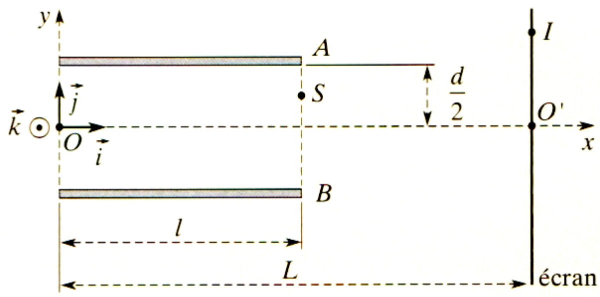
EXERCICE II : MOUVEMENT D'UN PROTON (12 points)

Un faisceau de protons traverse successivement trois régions de l'espace notées I, II et III sur le document ci-dessous. Dans cet exercice, on néglige l'action du poids du proton sur son mouvement qui sera étudié dans le référentiel terrestre que l'on considèrera comme galiléen.

Région I	Région II	Région III
Accélérateur linéaire de	Le champ électrostatique y est nul	Déviation de protons







1. Mouvement d'un proton dans la région I

Dans un accélérateur linéaire de particules, un proton de charge électrique e et de masse m, animé d'une vitesse de valeur $v_0 = 7,5 \cdot 10^5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$, pénètre entre les deux armatures parallèles et verticales d'un condensateur plan. Dans ce condensateur règne un champ électrostatique uniforme de valeur $E = 1,0\ \mathrm{kV \cdot m^{-1}}$. La vitesse finale du proton à la sortie de l'accélérateur a pour valeur $v_f = 2 \cdot v_0$.

1.1. Montrer par un calcul qu'il est légitime de négliger l'intensité du poids du proton par rapport à l'intensité de la force électrostatique qui s'exerce sur le proton.

1.2. En appliquant la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ du proton.

1.3. Projeter cette relation sur l'axe (Ox) et établir la relation entre l'accélération a_x, E, m et e.

1.4. Quelle est la nature du mouvement du proton ? Justifier la réponse.

Données :

- masse du proton : $m = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg
- charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

2. Mouvement d'un proton dans la région II

Dans la région II, le champ électrostatique est nul.

Quelle est la nature du mouvement du proton dans cette région ? Justifier soigneusement la réponse.

3. Mouvement d'un proton dans la région III

Un proton arrive au point O dans un condensateur plan avec une vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$ de direction parallèle aux armatures A et B du condensateur. Les armatures, constituées de deux plaques métalliques carrées (A et B), de côté ℓ, sont placées horizontalement et parallèlement l'une à l'autre. On note d la distance entre les deux armatures. On applique une tension U entre ces deux armatures et on note e la charge et m la masse du proton.

3.1. *On souhaite que le proton soit dévié vers le haut.* Compléter la figure de la région III ci-dessous et représenter, sans souci d'échelle, le champ électrostatique $\vec{E}$ et la force électrostatique $\vec{F}$.

3.2. Quelle est l'armature chargée positivement ? Justifier la réponse.

3.3. Donner les expressions des composantes a_x et a_y du vecteur accélération dans le repère représenté sur la figure en fonction des grandeurs E, e et m.

3.4. Établir les équations horaires de la vitesse et de la position du proton dans le repère $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$ en fonction des grandeurs E, e, m et V_0.

3.5. Établir l'équation de la trajectoire du proton en fonction des grandeurs E, e, m et V_0.

3.6. Vérifier que l'ordonnée du point S pour lequel $x_S = \ell$ est donnée par la relation $y_S = \dfrac{e \cdot U \cdot \ell^2}{2 \cdot m \cdot d \cdot {V_0}^2}$ puis calculer la valeur de y_S.

Données :

- masse du proton : $m = 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg
- charge élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
- facteurs géométriques : $\ell = d = 6,0$ cm et $L = 0,50$ m
- vitesse initiale du proton : $V_0 = 1,5 \cdot 10^6\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
- tension électrique entre les armatures A et B : $U = 4,0$ kV
- intensité du champ électrostatique dans un condensateur plan : $E = \dfrac{U}{d}$
- dans un condensateur plan, la champ électrostatique $\vec{E}$ est perpendiculaire aux armatures et orienté de l'armature positivement chargée vers l'armature négativement chargée

ANNEXE (À RENDRE AVEC LA COPIE)

Exercice II – Question 3.1. – Région III