TS	Devoir surveillé N°2	Lundi 20/11/17

Nom et Prénom :………

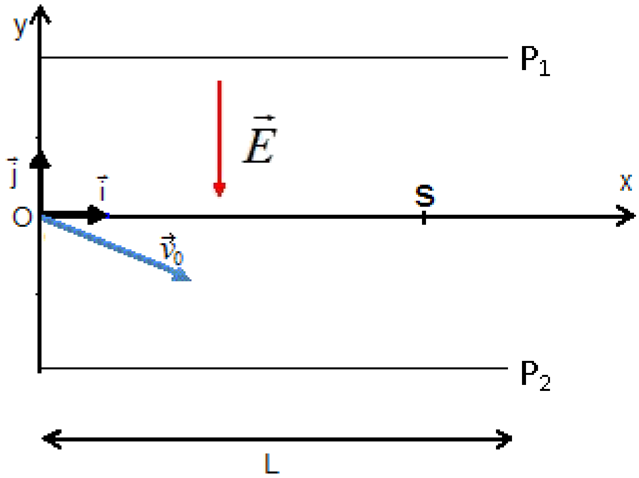
Exercice 1 : L'expérience de J.J. Thomson (9,25 points)

Le problème posé par la nature des « rayons cathodiques » à la fin du XIX^{ème} siècle fut résolu en 1897 par l'Anglais J.J. Thomson : il s'agissait de particules chargées négativement baptisées par la suite « électrons ». La découverte de l'électron valut à Thomson le prix Nobel de physique en 1906. Lors de ses recherches dans son laboratoire de Cambridge, Thomson conçoit un dispositif dans lequel un faisceau d'électrons est dévié lors de son passage entre deux plaques où règne un champ électrique.

L'étude suivante porte sur le mouvement d'un électron du faisceau qui pénètre entre deux plaques parallèles et horizontales P_1 et P_2, dans une zone où règne un champ électrique E supposé uniforme et perpendiculaire aux deux plaques. À l'instant t = 0 s, l'électron arrive au point O (origine du repère Oxy) avec une vitesse v_0 telle que le vecteur v_0.forme un angle α avec l'axe Ox.

Données :

- Particule : électron
- α = 15,0°
- v_0 = 8,20 x10^5 m.s^{-1}
- E = 670 V/m
- L = 9,0.10^{-2} m
- m_e = 9,11 x10^{-31} kg
- e = 1,60 x10^{-19} C
- g = 9,81 m.s^{-2}



1. Déterminer la polarité des plaques P_1 et P_2. Justifier. 0,75

2. Donner l'expression vectorielle de la force électrique $\mathrm{F_e}$ subie par l'électron. 0,5
   Comparer la direction et le sens de la force électrique $\mathrm{F_e}$ à ceux du champ électrique E. Représenter la force électrique sur le schéma. 0,75

3. Montrer que le poids de l'électron est négligeable devant la force électrique. 1,25

4. En précisant la loi utilisée et en expliquant votre démarche, montrer que les équations horaires de l'accélération de l'électron sont : 1,5

$$a(t) \quad \begin{array}{l} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = \dfrac{e \times E}{m_e} \end{array}$$

5. En déduire les équations horaires de vitesse et de position de l'électron. 3

6. Montrer que la date t_S à laquelle l'électron retrouve sa hauteur initiale est de l'ordre de la nanoseconde. 1

7. En déduire $x(t_S)$ correspondant à la coordonnée x à la date t_S. 0,5

Exercice 2 : Communication entre la Lune et la capsule Apollo (5,75 points)

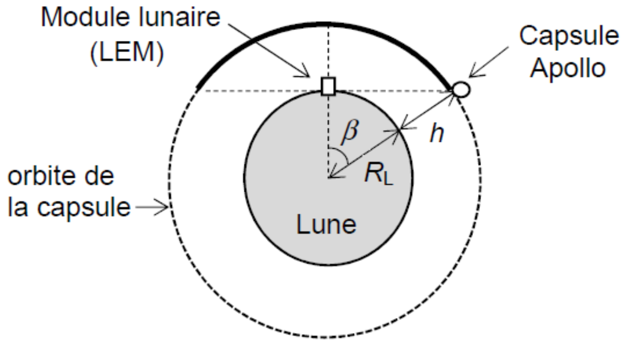
En février 1971, la mission américaine Apollo XIV devient la huitième mission habitée du programme Apollo et la troisième à se poser sur la Lune. Lors de cette mission, un des astronautes, Alan B. Shepard Jr, installe un réflecteur de lumière sur le sol lunaire.

Données :

- Constante gravitationnelle : $G = 6{,}67.10^{-11}$ m^3.kg^{-1}.s^{-2}.
- La Terre et la Lune sont supposées sphériques.

	Masse	Rayon
Terre	$M_T = 5{,}98.10^{24}$ kg	$R_T = 6{,}38.10^3$ km
Lune	$M_L = 7{,}33.10^{22}$ kg	$R_L = 1{,}74.10^3$ km

Quand elle arrive au voisinage de la Lune, la capsule Apollo, de masse $m_C = 30.10^3$ kg, est mise en orbite à une altitude h égale à 110 km. Son mouvement est circulaire et uniforme autour du centre de la Lune. Le module lunaire (LEM) est alors envoyé sur la Lune, avec deux astronautes à son bord. Le troisième astronaute reste à bord de la capsule Apollo.
Le schéma ci-dessous représente l'orbite de la capsule Apollo autour de la Lune.
Les échelles ne sont pas respectées.



L'étude du mouvement de la capsule se fait dans le référentiel lunocentrique supposé galiléen, défini par le centre de la Lune supposée sphérique. Dans cette étude, on néglige la rotation de la lune sur elle-même dans le référentiel lunocentrique.

1. En précisant la loi utilisée et en expliquant votre démarche, déterminer l'expression vectorielle de l'accélération de la capsule sur son orbite en fonction de G, M_L, h, R_L dans le repère de Frenet. 1,5
2. Montrer que la vitesse de la capsule est constante et que son expression est : 1,5

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_L}{R_L + h}}$$

3. En déduire l'expression de la période T en fonction de G, M_L, h, R_L. 1
4. Vérifier que la durée entre deux passages successifs de la capsule Apollo à la verticale du module lunaire posé sur la Lune vaut environ 2 h. 0,75
5. La troisième loi de Kepler est-elle vérifiée ? Justifier. 1

Exercice 3 : Acide méthanoïque (5 points)

Pour se défendre, les fourmis utilisent deux moyens : leurs mandibules et la projection d'acide méthanoïque nommé également acide formique. Les mandibules servent à immobiliser l'ennemi tandis que l'acide formique brûle la victime. Une fourmi se sentant menacée se dresse sur ses deux pattes arrière et peut projeter sur l'ennemi un jet d'acide formique à plus de 30 centimètres grâce à son abdomen.

L'acide méthanoïque $HCOOH_{(aq)}$ est un acide faible qui réagit avec l'eau.

On se propose d'étudier quelques propriétés d'une solution aqueuse de cet acide de pH = 5,2.

1/ a - Définir un acide et une base dans la théorie de Brönsted. 1

b - En déduire les couples acide/base mis en jeu et écrire les demi-équations correspondantes. 1,5

2/ En déduire l'équation de la réaction entre l'acide méthanoïque $HCOOH_{(aq)}$ et l'eau. 0,5

3/ Exprimer la constante d'acidité K_A associée au couple étudié. 0,5

4/ A 25°C, le pK_A du couple vaut 3,75. En déduire la valeur de K_A. 0,5

5/ Représenter le diagramme de prédominance du couple et en déduire l'espèce prédominante dans la solution S. 1

Correction

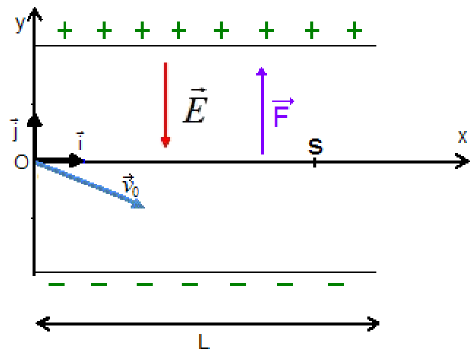
Exercice 1

1. La plaque P_1 est chargée positivement et la plaque P_2 est chargée négativement car le champ électrique descend les potentiels et qu'il est dirigé de la plaque P_1 vers la plaque P_2.

2.

$$F_e = q \times E = -e \times E$$

On en déduit que les vecteurs force électrique et champ électrique ont la même direction mais sont de sens opposés.



3. $F_e = e \times E = 1{,}60.10^{-19} \times 670 = 1{,}07.10^{-16}\ N$
$P = m_e \times g = 9{,}11.10^{-31} \times 9{,}81 = 8{,}94.10^{-30}\ N$
$\dfrac{F_e}{P} = \dfrac{1{,}07.10^{-16}}{8{,}94.10^{-30}} = 1{,}20.10^{13}$
Le poids de l'électron est donc négligeable devant la force électrique.

4. <u>Inventaire des forces</u>
Système : {électron}
Référentiel terrestre supposé galiléen
Repère Oxy indiqué sur le schéma fourni
Le champ électrique E est supposé constant

$$E \begin{array}{l} E_x = 0 \\ E_y = -E \end{array}$$

Une seule force s'exerce sur le système :

- la force électrique $F_e = q \times E = -e \times E$

<u>Application de la 2ème loi de Newton</u>
Le référentiel terrestre est considéré comme galiléen. Nous pouvons appliquer la 2ème loi de Newton (ou le principe fondamental de la dynamique)

$$\mathrm{F_{ext}} = \frac{\mathrm{d}\ \mathrm{p}\ t}{\mathrm{dt}} = \frac{\mathrm{d}\ \mathrm{m_e} \times \mathrm{v}\ t}{\mathrm{dt}}$$

La masse du système est constante donc :

$$\mathrm{F_{ext}} = m_e \times \frac{\mathrm{d}\ \mathrm{v}\ t}{\mathrm{dt}} = m_e \times a\ t$$

or $\quad \mathrm{F_{ext}} = F_e = -e \times E$
donc $\quad F_e = -e \times E = m_e \times a\ t$

$$\boldsymbol{a\ t} = -\frac{\boldsymbol{e \times E}}{\boldsymbol{m_e}}$$

<u>Coordonnées du vecteur accélération</u>
D'après l'égalité vectorielle précédente, on en déduit les coordonnées du vecteur accélération $a\ t$:

$$\boldsymbol{a\ t} \begin{array}{l} \boldsymbol{a_x\ t = 0} \\ \boldsymbol{a_y\ t} = +\dfrac{\boldsymbol{e \times E}}{\boldsymbol{m_e}} \end{array}$$

5. Les conditions initiales

$$\overrightarrow{OM_0} \begin{cases} x_0 = 0\,m \\ y_0 = 0\,m \end{cases} \quad et\ \overrightarrow{v_0} \begin{cases} v_{0x} = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_{0y} = -\,v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

Coordonnées du vecteur vitesse (ou équations horaires de la vitesse)

On sait que :

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt}$$

Pour déterminer les coordonnées du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$, on cherche la primitive de $\vec{a}(t)$

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = C_1 \\ v_y(t) = +\dfrac{e \times E}{m_e} \times t + C_2 \end{cases}$$

Pour déterminer la valeur des constantes C_1 et C_2, on se place à l'instant initial (t = 0 s)

$$\vec{v}(t = 0\,s) = \overrightarrow{v_0} \begin{cases} v_x(t = 0\,s) = C_1 = v_{0x} = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_y(t = 0\,s) = +\dfrac{e \times E}{m_e} \times 0 + C_2 = C_2 = v_{0y} = -\,v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

On déduit que :

$$\vec{v}(t) \begin{cases} v_x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \\ v_y(t) = \dfrac{e \times E}{m_e} \times t - v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

Coordonnées du vecteur position (ou équations horaires de position)

On sait que :

$$\vec{v}(t) = \frac{d\overrightarrow{OM}(t)}{dt}$$

Pour déterminer les coordonnées du vecteur position $\overrightarrow{OM}(t)$, on cherche la primitive de $\vec{v}(t)$

$$\overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t + C_3 \\ y(t) = \dfrac{e \times E}{2 \times m_e} \times t^2 - v_0 \times \sin(\alpha) \times t + C_4 \end{cases}$$

Pour déterminer la valeur des constantes C_3 et C_4, on se place à l'instant initial (t = 0 s)

$$\overrightarrow{OM}(t = 0\,s) = \overrightarrow{OM_0} \begin{cases} x(t = 0\,s) = v_0 \times \cos(\alpha) \times 0 + C_3 = C_3 = x_0 = 0\,m \\ y(t = 0\,s) = \dfrac{e \times E}{2 \times m_e} \times 0^2 - v_0 \times \sin(\alpha) \times 0 + C_4 = C_4 = y_0 = 0\,m \end{cases}$$

On déduit que :

$$\overrightarrow{OM}(t) \begin{cases} x(t) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ y(t) = \dfrac{e \times E}{2 \times m_e} \times t^2 - v_0 \times \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

6. À la date t_S, on sait que $y(t_S) = 0$ m

$$\frac{e \times E}{2 \times m_e} \times {t_S}^2 - v_0 \times \sin(\alpha) \times t_S = 0$$

$$\left(\frac{e \times E}{2 \times m_e} \times t_S - v_0 \times \sin(\alpha)\right) \times t_S = 0$$

La solution mathématique $t_S = 0$ s n'est pas cohérente avec la situation physique (départ de l'électron).

$$\frac{e \times E}{2 \times m_e} \times t_S - v_0 \times \sin(\alpha) = 0$$

$$t_S = \frac{2 \times m_e}{e \times E} \times v_0 \times \sin(\alpha)$$

$$t_S = \frac{2 \times 9{,}11.10^{-31}}{1{,}60.10^{-19} \times 670} \times 8{,}20.10^5 \times \sin(15{,}0) = 3{,}61.10^{-9}\,s$$

L'électron retrouve sa hauteur initiale au bout de 3,61 ns.

7. $x(t_S) = v_0 \times \cos(\alpha) \times t_S = 8{,}20.10^5 \times \cos(15{,}0) \times 3{,}61.10^{-9} = 2{,}86.10^{-3}\,m$

L'électron retrouve sa hauteur initiale 2,86 mm plus loin selon l'axe Ox

Exercice 2

1. Système : {capsule}
Référentiel lunocentrique supposé galiléen
Repère de Frenet

Une seule force s'exerce sur le système : la force gravitationnelle : $\vec{F}_{L/C} = G\dfrac{M_L \times m_C}{(R_L + h)^2}\vec{n}$

<u>Application de la 2ème loi de Newton</u>

Le référentiel lunocentrique est considéré comme galiléen. Nous pouvons appliquer la 2ème loi de Newton (ou le principe fondamental de la dynamique)

$$F_{ext} = m_C \times a\ t = \vec{F}_{L/C} = G\frac{M_L \times m_C}{(R_L + h)^2}\vec{n} \qquad \vec{a}(t) = G\frac{M_L}{(R_L + h)^2}\vec{n}$$

2. Dans le repère de Frenet les coordonnées du vecteur accélération sont :

$$a(t)\begin{cases} a_T = \dfrac{dv}{dt} \\ a_N = \dfrac{v^2}{R_L + h} \end{cases}$$

D'après l'expression vectorielle de l'accélération déterminée dans la question précédente on peut écrire :

$$a(t)\begin{cases} a_T = \dfrac{dv}{dt} = 0 \\ a_N = \dfrac{v^2}{R_L + h} = G\dfrac{M_L}{(R_L + h)^2} \end{cases}$$

On a donc : $\dfrac{dv}{dt} = 0$. La vitesse est constante

$$v^2 = G\frac{M_L x(R_L + h)}{(R_L + h)^2} = G\frac{M_L}{(R_L + h)}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \times M_L}{R_L + h}}$$

3. $$T = \frac{2\pi\times(R_L+h)}{v}$$

$$= \frac{2\pi\times(R_L+h)}{\sqrt{\frac{G\times M_L}{R_L+h}}}$$

$$= \frac{2\pi\times(R_L+h)}{1} \times \sqrt{\frac{R_L+h}{G\times M_L}}$$

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{(R_L+h)^3}{G\times M_L}}$$

4. La durée entre deux passages identiques est la période T.

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{(R_L+h)^3}{G\times M_L}} = 2\pi \times \sqrt{\frac{(1{,}74.10^6+110.10^3)^3}{6{,}67.10^{-11}\times 7{,}33.10^{22}}} = 7{,}15.10^3 s = \frac{7{,}15.103}{3600} \approx 2h$$

5. D'après la question 3) :

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{(R_L+h)^3}{G\times M_L}}$$

D'où : $T^2 = 4\pi^2 \times \dfrac{(R_L+h)^3}{G\times M_L}$ soit $\dfrac{T^2}{(R_L+h)^3} = \dfrac{4\pi^2}{G\times M_L}$ = constante. La 3ème loi de Kepler est vérifiée.

Exercice 3

1. **a)** Un acide, selon la définition de Brönsted, est une espèce chimique capable de céder au moins un proton H^+.
   Une base, selon la définition de Brönsted est une espèce chimique capable de capter au moins un proton H^+.

   b) Les deux couples mis en jeu sont : $HCOOH_{(aq)}$/ $HCOO^-_{(aq)}$ $\quad HCOOH_{(aq)} \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H^+$
   et $H_3O^+_{(aq)}/H_2O(l)$ $\quad H_3O^+_{(aq)} \rightleftharpoons H_2O(l) + H^+$

2. Equation de la réaction entre l'acide méthanoïque $HCOOH_{(aq)}$ et l'eau :

$$HCOOH_{(aq)} + H_2O(l) \rightleftharpoons HCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}$$

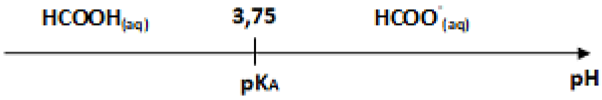
3. $K_A = \dfrac{H_3O^+\ eq \times HCOO^-\ eq}{HCOOH\ eq}$

4. $pK_A = -\log K_A$ soit $K_A = 10^{-pKA} = 10^{-3,75}$ $\quad K_A = 1,78 \times 10^{-4}$

5. Diagramme de prédominance :

Lorsque $pH > pK_A$ la forme basique est prédominante

Lorsque $pH < pK_A$ la forme acide est prédominante



A pH = 5,2 l'espèce prédominante est l'ion éthanoate $HCOO^-_{(aq)}$