**Unité d'enseignement HLEE 204 : Energie Electrostatique**

## *TD n°2 : Force Electrostatique*

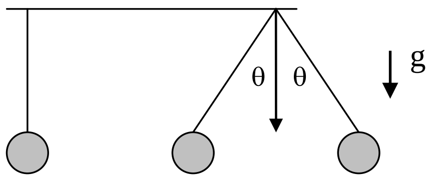
### Exercice 1 : Etude de deux balles chargées à l'équilibre

2 balles de masses 0.2g sont suspendues par l'intermédiaire d'un support isolant de longueur 20cm.

**1-** Dans l'état initial, les 2 boules non chargées ont leur support confondu.
Calculer la tension du fil de suspension.

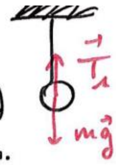
**2-** On apporte une charge égale et de même signe, positive par exemple. On suppose la charge uniformément répartie sur chaque balle.

Les balles ont un nouvel état d'équilibre (voir schéma). L'angle θ à l'équilibre vaut 10°.
Calculer la charge portée par les balles.




avant charge        à l'équilibre après charge

1.
$m = 0{,}2g$
$l = 20cm.$

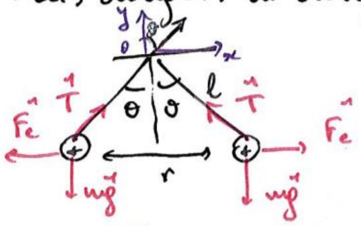



1. boule non chargée → A l'équilibre $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$.

$\vec{T}_1 + \vec{P} = \vec{0} \to T_1 - mg = 0$

$T_1 = mg = 0{,}2\cdot10^{-3}\times 9.8$
$\approx 2\cdot10^{-3} N.$

2. boules chargées : de charge q




$\sin\theta = \frac{T_x}{T}$    $\cos\theta = \frac{T_y}{T}$

avec $F_e = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

$\left[\sin\theta = \frac{r/2}{l} \to r = 2l\sin\theta.\right.$

A l'équilibre $\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0}$.

$\vec{P} + \vec{F_e} + \vec{T} = \vec{0}$

suivant (Ox) → $F_e - T\sin\theta = 0$. (1)

suivant (Oy) → $T\cos\theta - mg = 0$. (2)

(1) → $T\sin\theta = F_e$

(2) → $T\cos\theta = mg$.

en divisant $\frac{\sin\theta}{\cos\theta} = tg\,\theta = \frac{F_e}{mg}$

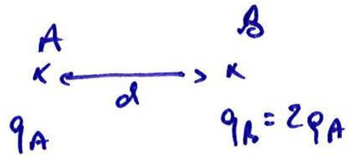
soit $tg\,\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{q^2}{(2l\sin\theta)^2\, mg}$.

<u>AN</u> :
$$\left.\begin{array}{l} \theta = 10^\circ \\ l = 0{,}2m \\ 1/4\pi\varepsilon_0 = 9\cdot10^{9} \\ mg = 2\cdot10^{-3} N \end{array}\right\} \to q = 1.4\cdot10^{-8} C$$

**Exercice 2 : Compensation de forces électrostatiques.**

Deux corps A et B, supposés ponctuels, séparés par une distance d, portent des charges positives $q_A$ et $q_B=2q_A$. On veut montrer qu'il existe un point M unique tel qu'un corps ponctuel portant une charge q négative placé en M subit de la part de $q_A$ et $q_B$ des forces électriques qui se compensent.

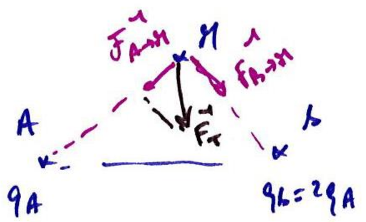
1. Montrer que M est nécessairement situé sur la droite (AB).
2. Montrer que M est nécessairement situé entre A et B.
3. Exprimer la distance x=AM en fonction de d.
4. Représenter sur un schéma les points A, B et M ainsi que les forces exercées par $q_A$ et $q_B$ sur q.




Au pt M → $q_M < 0$ . tel que les forces électriques se compensent en M.

1°/ si M n'est pas sur la droite (AB)

$q_M < 0$




→ $\vec{F}_{A\to M}$ et $\vec{F}_{B\to M}$ ⇒ $\vec{F}_T = \vec{F}_{AM} + \vec{F}_{BM} \neq \vec{0}$.

donc M est sur la droite (AB) pour que $\vec{F}_T = \vec{0}$.

2°/ si M n'est pas entre A et B sur la droite (AB)


$\vec{F}_T = \vec{F}_{AM} + \vec{F}_{BM} \neq \vec{0}$ car de le même sens

donc M entre A et B !!

3°/ Position de M entre A et B tel que $\vec{F}_T = \vec{F}_{AM} + \vec{F}_{BM} = \vec{0}$. → $F_{AM} = F_{BM}$.


$$\vec{F}_{elec} = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\vec{u} \quad \text{avec} \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\,10^9 \text{ SI}$$

$$F_{AM} = F_{BM} \longrightarrow \frac{q_A q_M}{4\pi\varepsilon_0 x^2} = \frac{q_B q_M}{4\pi\varepsilon_0 (d-x)^2} \Leftrightarrow \frac{q_A}{x^2} = \frac{q_B}{(d-x)^2}$$

$$(\Leftrightarrow (d-x)^2 q_A = q_B x^2 \rightarrow \text{NON})$$

$$\frac{(d-x)^2}{x^2} = \frac{q_B}{q_A} \longrightarrow \frac{d-x}{x} = \sqrt{\frac{q_B}{q_A}}$$

$$\text{d'où } d-x = x\sqrt{\frac{q_B}{q_A}} \Leftrightarrow x\sqrt{\frac{q_B}{q_A}} + x = d$$

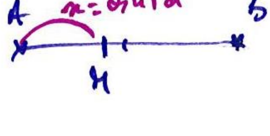
$$\Leftrightarrow x\left(1+\sqrt{\frac{q_B}{q_A}}\right) = d$$

$$\text{soit } \boxed{x = \frac{d}{1+\sqrt{\frac{q_B}{q_A}}} = \frac{d}{1+\sqrt{2}}} \quad \text{car } q_B = 2q_A$$

4°/

$1+\sqrt{2} = 2{,}41$

$\frac{1}{1+\sqrt{2}} = 0{,}41 \Rightarrow x = 0{,}41\,d$



**Exercice 3 : Forces électriques entres conducteurs sphériques ponctuels**

1- La figure(a) ci-contre montre 2 conducteurs sphériques de charge positive placés sur l'axe des x. Les charges sont $q_1$= 1.6 nC et $q_2$ = 3.2 nC et la distance R = 0.02m. Déterminer grandeur et direction de la force électrostatique $\mathbf{F_{21}}$ que la charge 2 exerce sur la charge 1.

2- Déterminer grandeur et direction de la force électrostatique $\mathbf{F_{res,\,1}}$ que les charges 2 et 3 exercent sur la charge 1, dans le cas de la figure (b) où $q_3$ = -3.2nC et où la charge 3 se trouve à 3/4R de la charge 1.

3- Déterminer grandeur et direction de la force électrostatique $\mathbf{F'_{res,\,1}}$ que les charges 2 et 4 exercent sur la charge 1, dans le cas de la figure (c) où $q_4$ = -3.2nC et où la charge 4 se trouve à 3/4R de la charge 1.


Fig. a

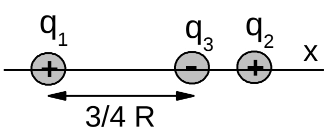



Fig. b

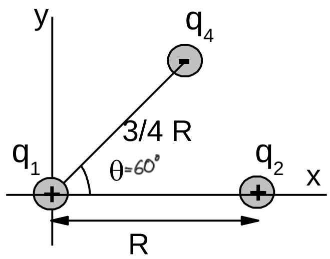



Fig. c

*1.

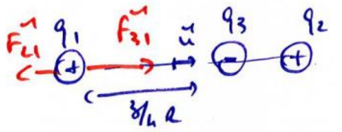

$R = 0{,}02\,m$

$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi 10^9}$ F/m.

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\,10^9$

$F_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{R^2} = 1{,}15\,10^{-4}\,N.$

*2.

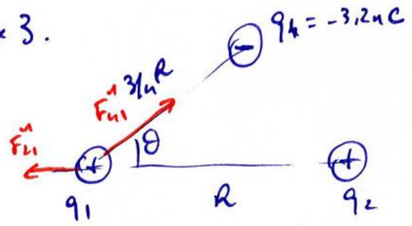



$q_3 = -3{,}2\,nC$

$F_{21}$ et $F_{31} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_3}{(3/4\,R)^2} = 2{,}05\,10^{-4}\,N.$

$\vec{F}_{res} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} = (-1{,}15\,10^{-4} + 2{,}05\,10^{-4})\,\vec{u} = 0{,}9\,10^{-4}\,N\,\vec{u}.$

*3.



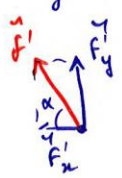

$\theta = 60°$

$F_{41} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_4}{(3/4\,R)^2} = 2{,}05\,10^{-4}\,N.$

$\vec{F}'_{res,1} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{41}.$

$$\begin{cases} (F'_{res,1})_x = F_{21_x} + F_{41_x} = -F_{21} + F_{41}\cos\theta = -1{,}25\,10^{-5}\,N. \\ (F'_{res,1})_y = F_{21_y} + F_{41_y} = 0 + F_{41}\sin\theta = 1{,}78\,10^{-4}\,N. \end{cases}$$

$\vec{F}'_{res,1} \left| \begin{array}{l} -1{,}25\,10^{-5} \\ 1.78\,10^{-4} \end{array} \right.$




$tg\,\alpha = \frac{F'_y}{F'_x} = 14{,}23 \rightarrow \underline{\underline{\alpha = 86°}}$

$F'_{res,1} = \sqrt{F'^2_x + F'^2_y} = 1{,}78\,10^{-4}\,N.$