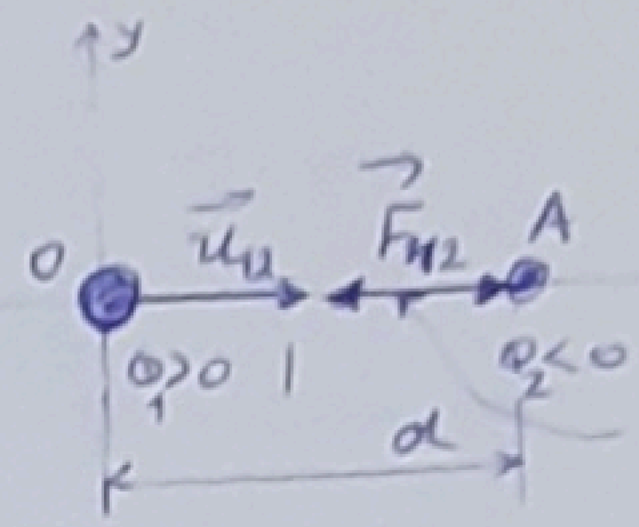
Ex01: Soient deux charges ponctuelles

$Q_1 = 9\,\mu C = 9\,10^{-6}\,C$, $Q_2 = -1\,\mu C = -10^{-6}\,C$

séparées de $d = 10\,cm$



1°/ $\left.\begin{array}{l} Q_1 > 0 \\ Q_2 < 0 \end{array}\right\}$: on a deux charges de signes opposés, la force d'interaction entre ces deux charges est une force d'attraction (attractive)

* Action de Q_1 sur Q_2 : Q_1 : source, Q_2 : cible

le rayon vecteur entre les charges, est orienté de Q_1 vers Q_2

$$\vec{r}_{12} = r_{12}\,\vec{u}_{12} = d\,\vec{u}_{12}$$

- Si on prend un repère (xoy) où "Q_1" est à l'origine "o" et Q_2 est au p^t A. La force qu'exerce Q_1 sur Q_2 est donnée par la loi de Coulomb :

$$\vec{F}_{1/2} = \vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}_{12}|^2}\vec{u}_{12}$$

$\vec{F}_{12}$: est dirigée de Q_2 vers Q_2 : (force d'attraction)

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}_{12}|^3}\vec{r}_{12} \quad \text{car} \quad \vec{u}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|}$$

or $\vec{r}_{12} = \vec{OA} = r_{12}\,\vec{u}_{12} = OA\,\vec{i}$ car $\vec{u}_{12} \equiv \vec{i}$ et $|\vec{OA}| = d$

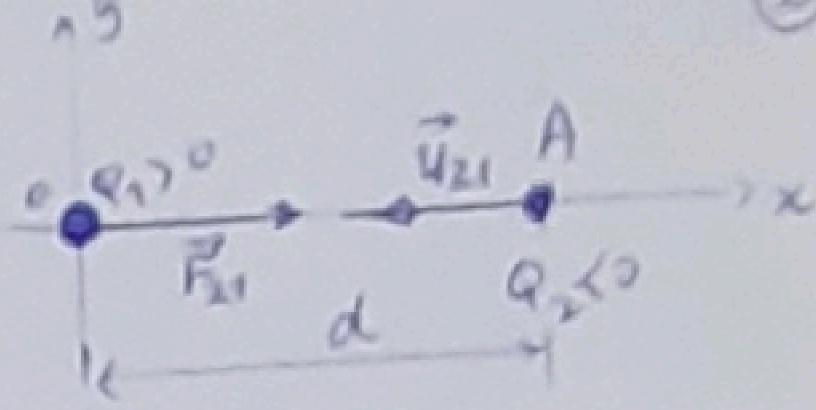
$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1 Q_2}{d^2}\vec{i} \quad \text{A.N :} \quad \vec{F}_{12} = \frac{9\,10^9\,(9\,10^{-6})(-10^{-6})}{(10^{-2})}\vec{i}$$

$$\boxed{\vec{F}_{12} = -8{,}1\,\vec{i}\ N}$$

* Action de Q_2 sur Q_1 : Q_2 : source, Q_1 : cible

Puisque les charges sont de signes opposés on a toujours une attraction

$$\vec{F}_{2,1} = \vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{Q_1 Q_2}{|\vec{r}_{21}|^2}\,\vec{u}_{21}$$



$\vec{r}_{21} = r_{21}\,\vec{u}_{21} = \vec{AO} = -d\,\vec{i}$ $\quad \vec{u}_{21} = -\vec{i}$

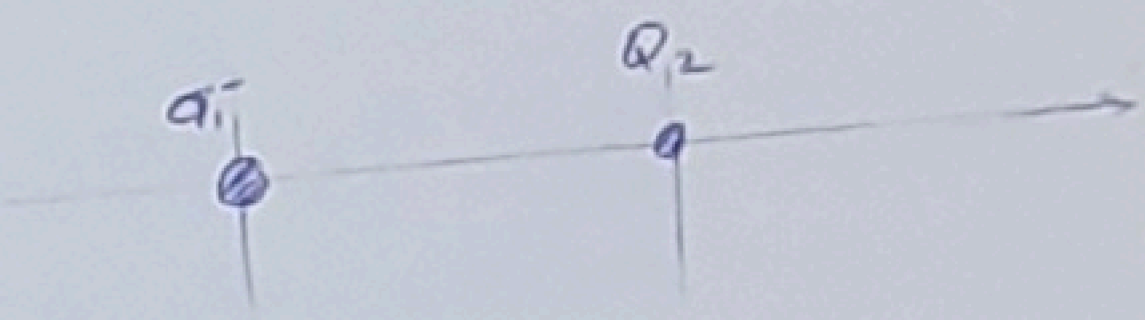
$|\vec{AO}| = d$

$$\vec{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{Q_1 Q_2}{d^2}\,(-\vec{i}) \qquad \underline{A.N} : \quad \vec{F}_{21} = \frac{9.10^{9}\,(9\,10^{-6})\,(-10^{-6})}{(10^{-2})}\,(-\vec{i})$$

$$\boxed{\vec{F}_{21} = 8{,}1\,\vec{i}\ \text{N}}$$

On remarque que, $\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}$: Principe de réciprocité (Loi 3ème de Newton

2-/ On divise l'espace en 3 zones



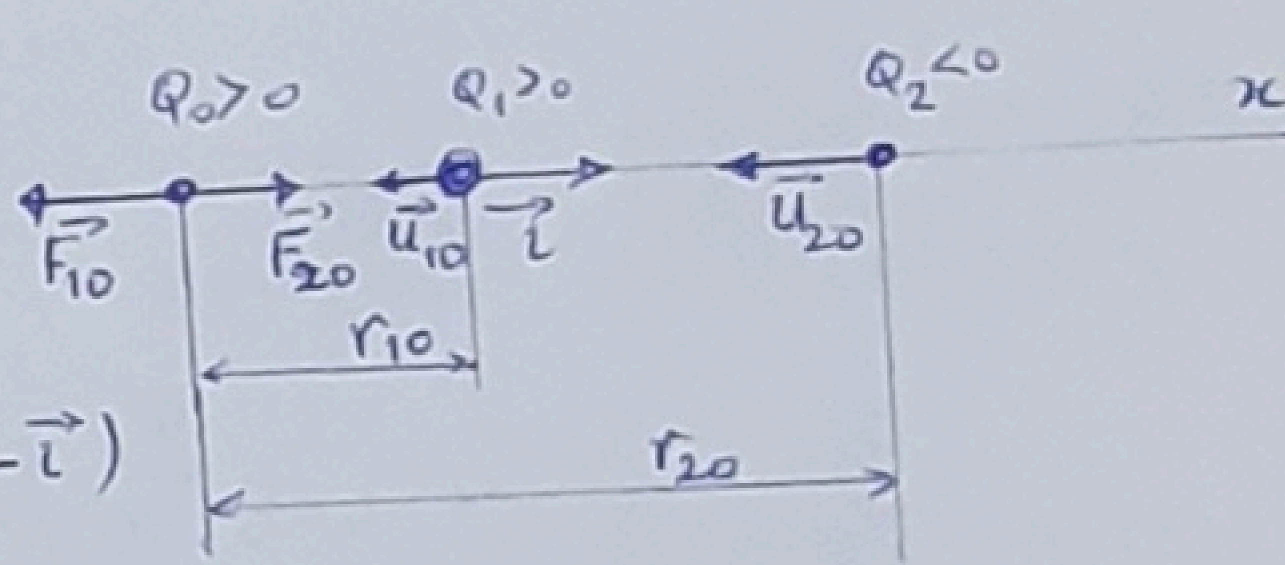
Zone I : Zone à gauche de Q_1

Zone II : Zone entre les deux charges

Zone III : Zone à droite de Q_2

• <u>Zone I : Zone à gauche de Q_1</u>

- $\left.\begin{array}{l} Q_1 > 0 \\ Q_0 > 0 \end{array}\right\}$ deux charges de même signes $\Rightarrow$ répulsion



$$\vec{F}_{10} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q_1 Q_0}{r_{10}^2}\,\vec{u}_{10} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{Q_1 Q_2}{r_{12}^2}\,(-\vec{i})$$

$$\vec{F}_{10} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{Q_1 Q_2}{r_{10}^2}\,\vec{i}$$

- $\left.\begin{array}{l} Q_2 < 0 \\ Q_0 > 0 \end{array}\right\}$ deux charges de signes opposées $\Rightarrow$ attraction

$$\vec{F}_{20} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{Q_2 Q_0}{r_{20}^2}\,\vec{u}_{20} \qquad \vec{u}_{20} = -\vec{i}$$

$$\vec{F}_{20} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{|Q_2||Q_0|}{r_{20}^2}\,\vec{i}$$

$\Rightarrow$ Les deux forces agissantes sur Q_0 due à Q_1 et Q_2 sont de sens opposées, mais

- $\vec{F}_{10}$: l'emporte sur $\vec{F}_{20}$ du point de vue charge car la force est proportionnelle à la charge et on a : $|Q_1| > |Q_2|$

Phys02 Corrigé TD 02 22/23 ③

$$F_{10} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{|Q_1 Q_0|}{r_{10}^2} \quad \text{et} \quad F_{20} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{|Q_2 Q_0|}{r_{20}^2} \Rightarrow \boxed{F_{10} > F_{20}}$$

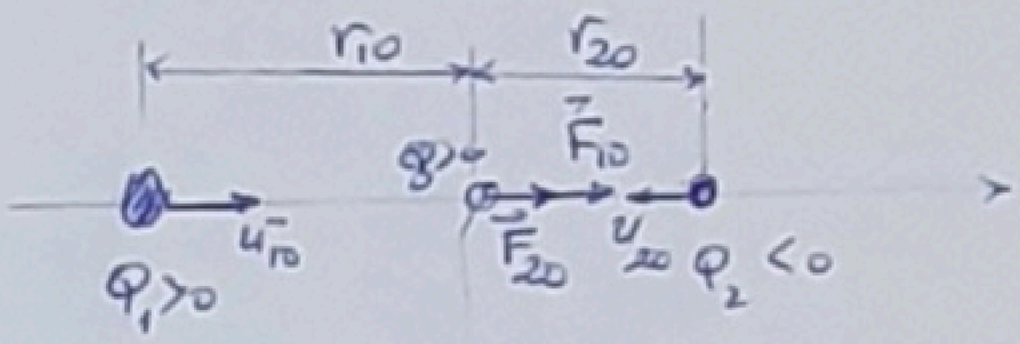
- F_{10} l'emporte aussi sur F_{20} du point de vue de la distance de séparation, car la force de Coulomb est inversement proportionnelle à la distance de séparation "r"

$$r_{10} < r_{20} \qquad F_{10} = \frac{1}{4\pi\varepsilon} \frac{|Q_1 Q_0|}{r_{10}^2}, \quad F_{20} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{|Q_2 Q_0|}{r_{20}^2}$$

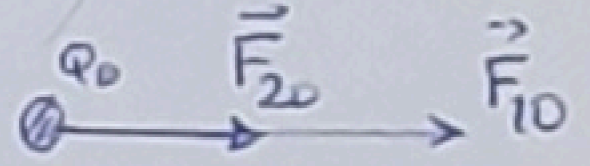
$$\Rightarrow F_{10} > F_{20}$$

$\Rightarrow$ Dans les deux situations, la force F_{10} est toujours supérieure à $\vec{F}_{20}$, malgrés que les deux forces sont opposées la resultante n'est jamais nulle $\vec{F} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} \neq 0$ $\forall$ et la charge "Q_0" ne peut pas être en équilibre dans la zone I

• **Zone II**: entre les charges Q_1 et Q_2



- $\left.\begin{matrix} Q_1 > 0 \\ Q_0 > 0 \end{matrix}\right|$ on a une force de repulsion (charges de mêmes signes)

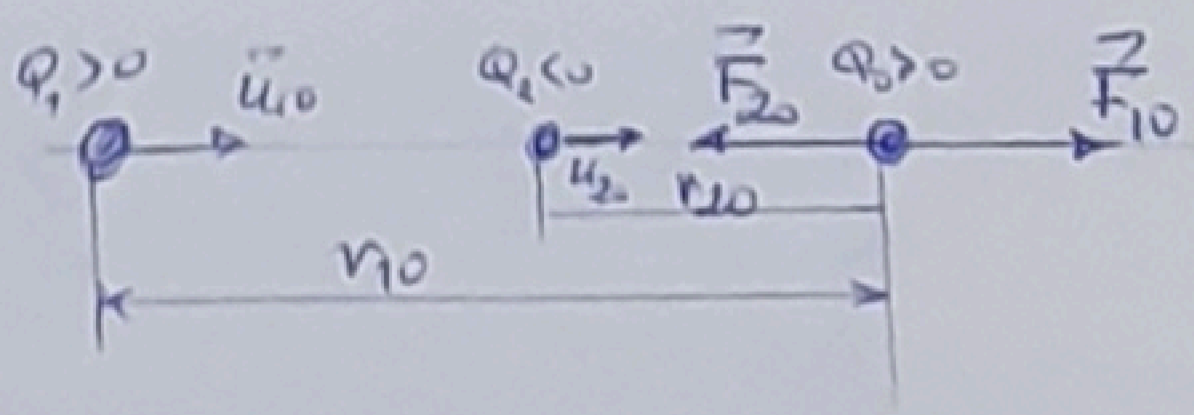


- $\left.\begin{matrix} Q_2 < 0 \\ Q_0 > 0 \end{matrix}\right|$ on a une force d'attraction (charges de signes opposés)

Les deux forces $\vec{F}_{10}$ et $\vec{F}_{20}$ dû aux charges respectivement Q_1 et Q_2 sont orientés dans le même sens, elles ne font que se renforcer, et la force résultante agissante sur "Q_0" n'est jamais nulle $(\vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} \neq 0)$ $\forall$ (Q_1 et Q_2) aussi (r_{10} et r_{20})

$\Rightarrow$ La charge Q_0 n'est jamais en équilibre dans cette zone (Zone II)

• **Zone III**: à gauche de Q_2



- $\left.\begin{matrix} Q_1 > 0 \\ Q_0 > 0 \end{matrix}\right\} \Rightarrow$ répulsion

- $\left.\begin{matrix} Q_2 < 0 \\ Q_0 > 0 \end{matrix}\right\} \Rightarrow$ attraction

- La force F_{10} l'emporte sur F_{20} du point de vue charge car $|Q_1| > |Q_2|$
- La force F_{20} l'emporte sur F_{10} du point de vue distance de séparation. Car $r_{10} > r_{20}$

$\Rightarrow$ La résultante $\vec{F} = \vec{F_{10}} + \vec{F_{20}}$ peut-être nulle dans cette zone, car $\vec{F_{10}}$ et $\vec{F_{20}}$ sont opposées et chacune des forces l'emporte dans un cas. Donc sous certaines conditions la force résultante est nulle, et la charge Q_0 est en équilibre dans cette zone (Zone III)

$\Rightarrow$ Si la résultante est nulle. $\vec{F_{10}} + \vec{F_{20}} = 0 \Rightarrow F_{10} = F_{20}$

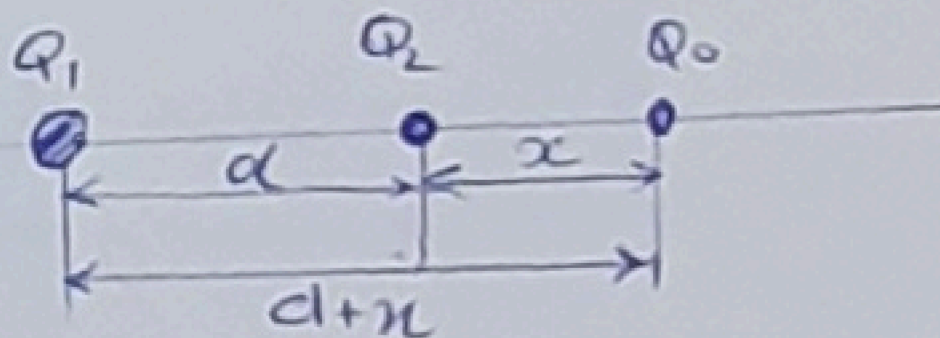
(Q_1, Q_0) : $\vec{F_{10}} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \dfrac{Q_1 Q_0}{r_{10}^2} \vec{i}$ $\quad \vec{u_{10}} = \vec{i}$

(Q_2, Q_0) : $\vec{F_{20}} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \dfrac{Q_2 Q_0}{r_{20}^2} \vec{i}$ $\quad \vec{u_{20}} = \vec{i}$

$\Rightarrow \vec{F} = \vec{F_{10}} + \vec{F_{20}} = \dfrac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\dfrac{Q_1}{r_{10}^2} + \dfrac{Q_2}{r_{20}^2}\right)\vec{i}$

$$\vec{F} = \frac{Q_0}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q_1}{r_{10}^2} + \frac{Q_2}{r_{20}^2}\right)\vec{i} = 0 \Rightarrow \frac{Q_1}{r_{10}^2} + \frac{Q_2}{r_{20}^2} = 0$$

$$\Rightarrow \frac{9\,10^{-6}}{(d+x)^2} - \frac{10^{-6}}{x^2} = 0 \Rightarrow 9 = \left(\frac{d+x}{x}\right)^2$$



$$\Rightarrow \frac{d+x}{x} = \pm 3$$

1er cas $+3$: $\dfrac{d+x}{x} = 3 \Rightarrow \dfrac{d}{x} = 2 \Rightarrow \boxed{x = \dfrac{d}{2} = 5\,\text{cm}}$

- La charge Q_0 peut-être en équilibre à droite de la charge "Q_2" à une distance $x = 5$ cm (Zone III)

2ème cas : -3. $\dfrac{d+x}{x} = -3 \Rightarrow \dfrac{d}{x} = -4 \Rightarrow x = \dfrac{-d}{4} = -2,5$ cm

- La charge "Q_0" dans ce cas est à gauche de la charge Q_2 c.a.d qu'elle est dans la zone II, or dans cette zone les deux forces sont de même sens c.a.d que la résultante n'est jamais nulle et "Q_0" ne peut pas être en équilibre, donc ce cas $x = -2,5$ est à exclure.

Phys 02   Corrigé TD n°02   22/23   (5)

Exo 2 : Deux sphères métallique

1°/ - initialement   sphère 1 : $q_1 = Q$ sphère 2 (neutre) : $Q_2 = 0$

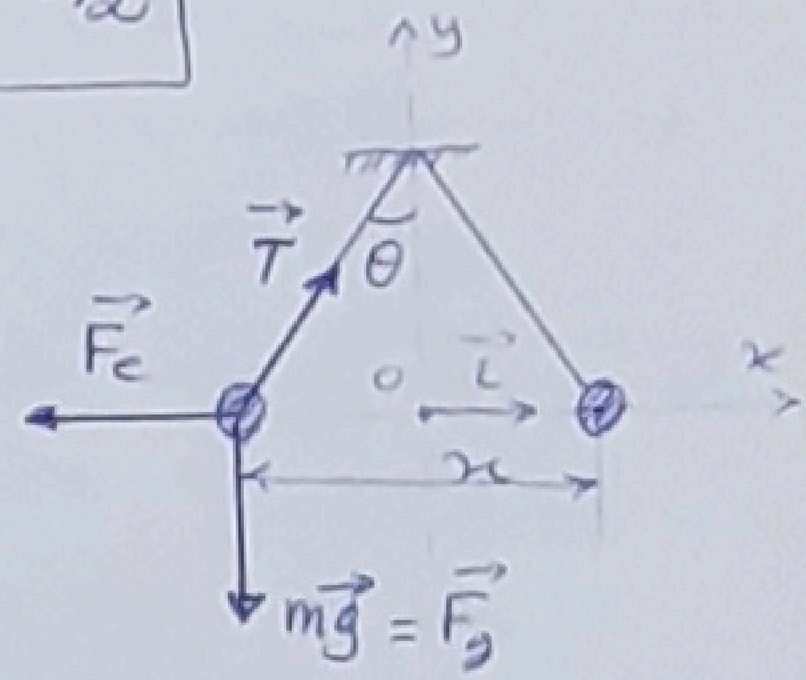
- mise en contact

- après séparation $Q'_1 = \frac{Q}{2}$ $Q'_2 = \frac{Q}{2}$

- Puisque les sphères sont métallique, la charge va être répartie sur la surface de la sphère.

mise en contact, la charge ~~de~~ q_1 de la sphère initialement chargée va être divisée entre les deux sphères de façon équitable et sera répartie sur les deux surfaces de 2 sphère équitablement $\Rightarrow \boxed{Q'_1 = Q'_2 = Q/2}$

2°/ Puisque les deux sphères portent les mêmes charges, elles vont se repousser avec une force de Coulomb



$$\vec F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{x^2}(-\vec i) \Rightarrow \vec F_e = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(Q/2)^2}{x^2}\vec i$$

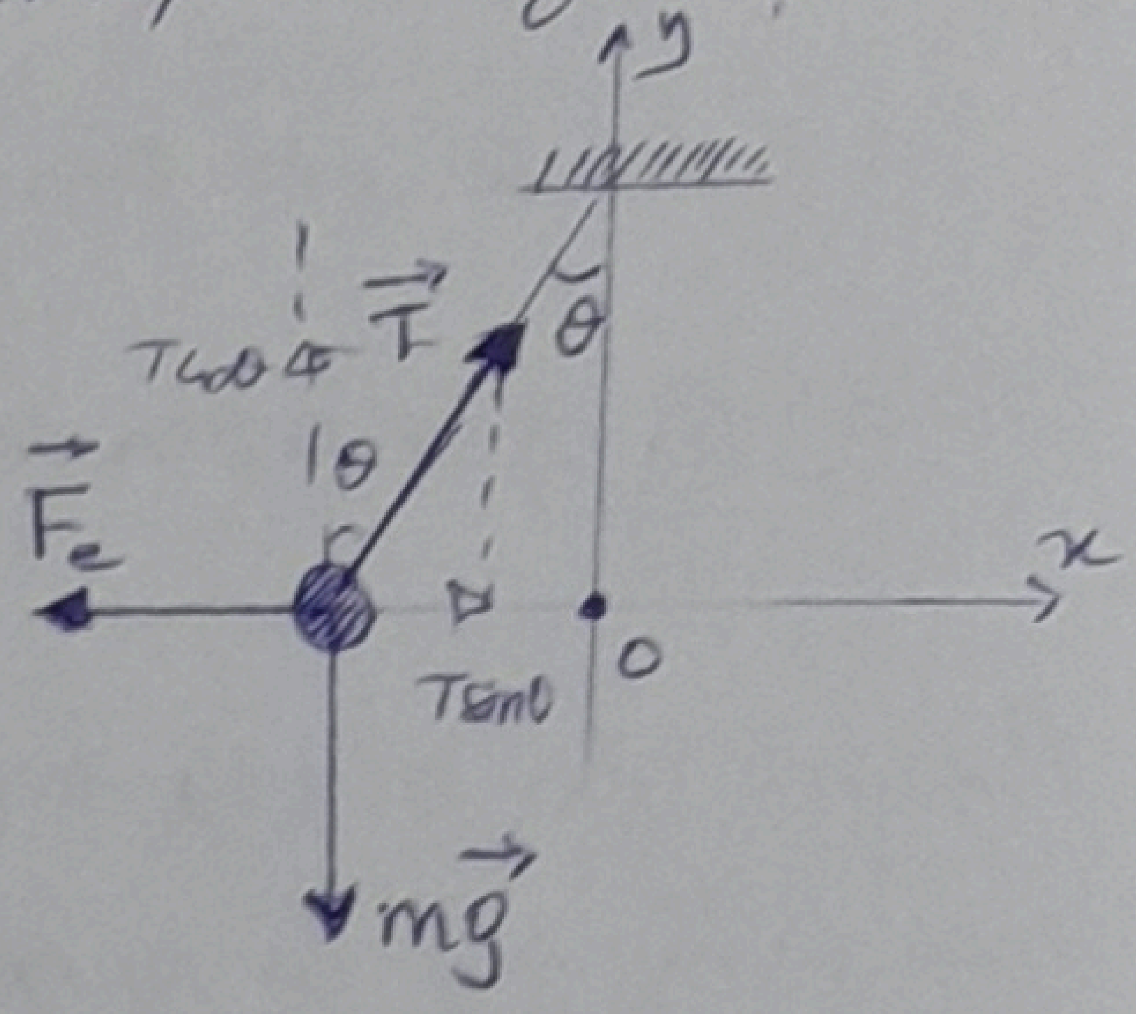
- Les deux sphère ayant des masses identiques $m_1 = m_2 = m$, elles vont subir des forces d'attraction gravitationnelle

$\vec F_1$ entre les deux masses : $\vec F_1 = G\frac{m_1 m_2}{x^2}\vec i$

$\vec F_2$ entre la masse et la terre $\vec F_2 = -G\frac{M m}{R^2}\vec j = m_1\vec g = m_2\vec g = m\vec g$

- Puisque la masse de la terre est très supérieure aux masses des deux sphères, l'attraction universelle entre les masses est très faible devant l'attraction de la masse et la terre et on ne considère que leurs poids $m\vec g = \vec F_g$, aussi negligeable devant $\vec F_e$

on prend une seule charge, (celle de gauche - pas spécialement), elle est soumise à la force électrostatique $\vec{F_e}$ du à la seconde charge, et le poids $m\vec{g}$, du à l'attraction gravitationnelle et la tension "$\vec{T}$" du à la reaction du suspension par un fil.



- $\vec{F_e}$: essaye d'éloigner les deux sphères
- $\vec{F_g}$: essaye de rapprocher les deux sphères

ces deux forces agissent en opposition, il existe donc une situation, où cette charge sera en équilibre.

⇒ La 2nd loi de Newton à l'équilibre est : $\sum \vec{F}^{ex} = \vec{0}$

$$\sum \vec{F}^{ex} = m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F_e} = \vec{0}$$

Pour résoudre cette équation vectorielle, on passe aux équations scalaires par projection sur le système de coordonnées adéquat (à l'équilibre le sens n'est pas trop important)

⇒ On prend le système cartésien où la médiane représente l'axe $\vec{oy}$ et l'axe $\vec{ox}$, suivant la ligne joignant les deux sphères.

. Suivant : $\vec{ox}$. La force électrique va compenser la composante de la tension le long de $\vec{ox}$.

$$T\sin\theta - F_e = 0 \quad \Rightarrow \quad T\sin\theta = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{4x^2} \quad (1)$$

. Suivant $\vec{oy}$: Le poids mg va être compensé par la composante de la tension suivant $\vec{oy}$

$$T\cos\theta - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad T\cos\theta = mg \quad (2)$$

Phys02 Corrigé TD n°02 22/23

$$\Rightarrow \begin{cases} T\sin\theta = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q^2}{4x^2} & (1) \\ T\cos\theta = mg & (2) \end{cases}$$

le rapport des deux équations $\dfrac{(1)}{(2)} \Rightarrow \dfrac{T\sin\theta}{T\cos\theta} = tg\theta = \dfrac{Q^2}{16\pi\varepsilon_0 mg x^2}$ (3)

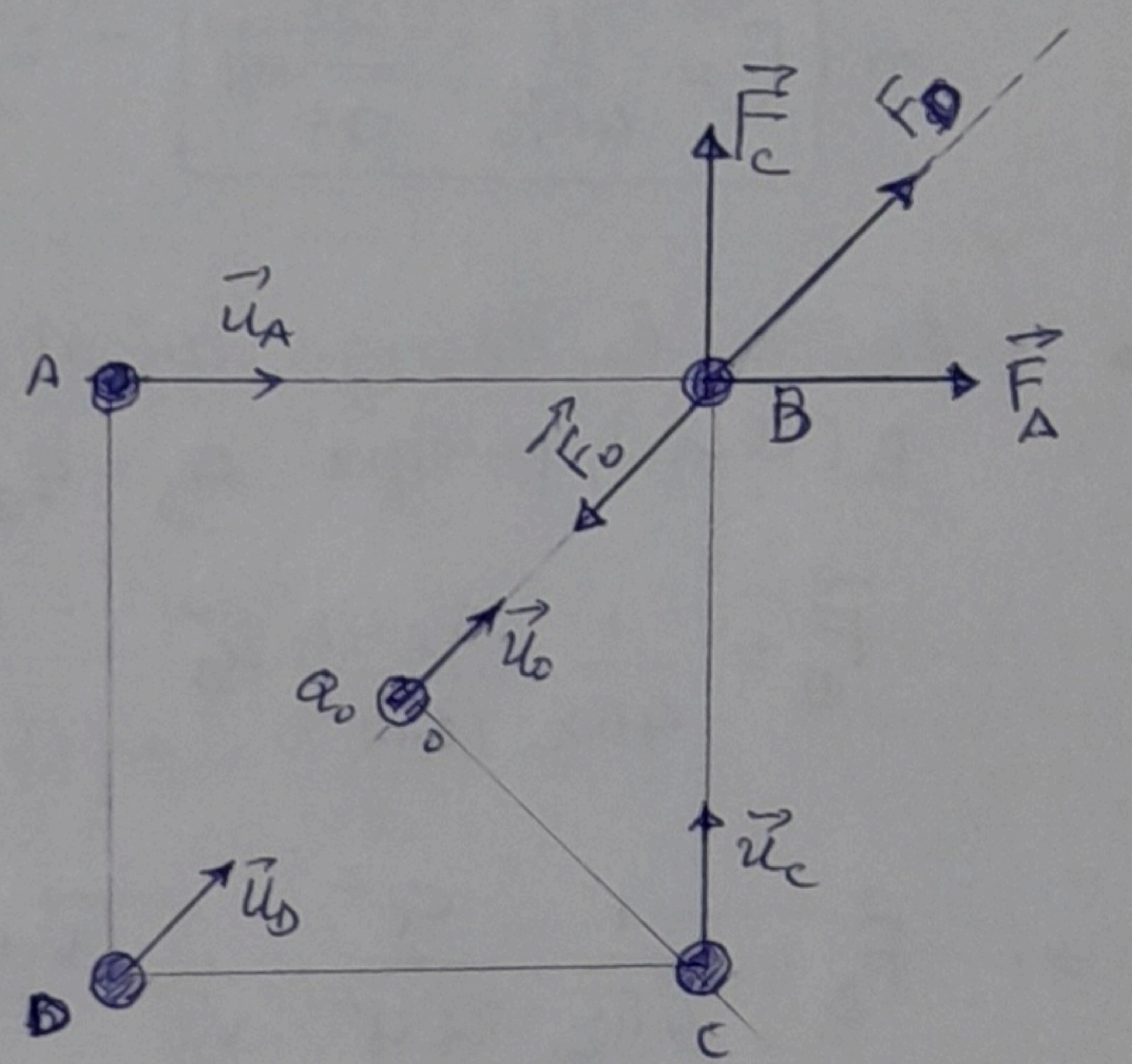
Si l'écartement entre les sphère est faible, on peut approximer "$tg\theta$" à "$\sin\theta$" : $tg\theta \simeq \sin\theta$

Selon la figure : $tg\theta \simeq \sin\theta = \dfrac{x/2}{a} = \dfrac{x}{2a}$ (4)

on porte (4) dans (3) $\Rightarrow tg\theta \simeq \sin\theta = \dfrac{x}{2a} = \dfrac{Q^2}{16\pi\varepsilon_0 mg x^2}$

$\Rightarrow x^3 = \dfrac{Q^2 a}{8\pi\varepsilon_0 mg} \Rightarrow \boxed{x = \left(\dfrac{Q^2 a}{8\pi\varepsilon_0 mg}\right)^{1/3}}$ ce qu'il fallait démontrer.

Exercice 03



1°/ pour que le système soit en équilibre électrostatique, on utilise le Théorème de Earenshaw qui dit que, pour qu'un système ~~soit en équilibre~~ de charges ponctuelles soit en équilibre électrostatique il faut et il suffit que la force appliquée à chacune des charges du système soit nulle.

- Puisqu'on a une symétrie, il suffit de faire le calcul pour une seule charge qui sera le même pour les autres charges.

$\vec{F}_C$: action de la charge au p^t C sur la charge au point B

$\vec{F}_A$: action de la charge au p^t A sur la charge au p^t B

$\vec{F}_D$: action de la force au p^t D sur la charge au p^t B

$\vec{F}_0$: action de la charge au p^t O sur la charge au p^t B

On prend la charge au point "B" qui subit l'action des charges aux points A, C, D, O

- action de la charge au p^t "A" (source) sur la charge au p^t B (cible), puisque $Q_A = Q_B = -Q$, on a un répulsion

$$\vec{F}_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_A Q_B}{|AB|^2} \vec{u}_A \qquad \begin{matrix} Q_A = -Q & |\vec{AB}| = a \\ Q_B = -Q & \vec{u}_A = \vec{i} \end{matrix}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{F}_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q^2}{a^2} \vec{i}}$$

- action de la charge au point "C" (source) sur la charge au point B (cible), puisque $Q_B = Q_C = -Q$, on a une répulsion

$$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_B Q_C}{|\vec{BC}|^2} \vec{u}_C \ , \qquad \begin{matrix} |\vec{BC}| = a \\ \vec{u}_C = \vec{j} \end{matrix}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q^2}{a^2} \vec{j}}$$

- action de la charge au p^t D (source) sur la charge au point B (cible), puisque $Q_D = Q_B = -Q \Rightarrow$ on a une répulsion.

$$\vec{F}_D = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_B Q_D}{|\vec{DB}|^2} \vec{u}_D \qquad \begin{matrix} |\vec{BD}| = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2} \\ \vec{u}_D = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i} + \vec{j}) \end{matrix}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_D = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q^2}{2a^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} (\vec{i} + \vec{j})$$

- Action de la charge au p^t O (source) sur la charge au p^t B (cible), puisque $Q_B = -Q$ $Q_0 > 0 \Rightarrow$ on a une attraction

$$\vec{F}_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q_0 Q}{|\vec{OB}|^2} \vec{u}_0 \qquad \begin{matrix} |\vec{OB}| = \sqrt{\frac{a^2}{2} + \frac{a^2}{2}} = a/\sqrt{2} \\ \vec{u}_0 = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i} + \vec{j}) \end{matrix}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{F}_0 = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2QQ_0}{a^2}\frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i}+\vec{j})}$$

La force totale que subit la charge au p^t B.

On applique le principe de superposition

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_i = \vec{F}_A + \vec{F}_C + \vec{F}_D + \vec{F}_0$$

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{a^2}\vec{i} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{a^2}\vec{j} + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q^2}{2a^2}\frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i}+\vec{j}) - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2QQ_0}{a^2}\frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i}+\vec{j})$$

pour que le système soit en équilibre la force doit être nulle

$$\vec{F} = 0$$

$$\Rightarrow \left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\right)\left[Q(\vec{i}+\vec{j}) + \frac{Q}{2}\frac{(\vec{i}+\vec{j})}{\sqrt{2}} - \frac{2Q_0}{\cancel{a^2}}\frac{(\vec{i}+\vec{j})}{\sqrt{2}}\right] = 0$$

$$\Rightarrow \left(\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\right)\left[\left[\left(\frac{1+2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}\right)Q - \frac{2Q_0}{\sqrt{2}}\right]\vec{i} + \left[\left(\frac{1+2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}\right)Q - \frac{2Q_0}{\sqrt{2}}\right]\vec{j}\right] = 0$$

$$\vec{F} = 0 \Rightarrow \begin{cases} F_x = 0 \\ F_y = 0 \end{cases} \qquad \vec{F} = F_x\vec{i} + F_y = 0$$

$$\Rightarrow \left(\frac{1+2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}\right)Q - \frac{2Q_0}{\sqrt{2}} = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_0 = \frac{1+2\sqrt{2}}{4}\cdot Q} \Rightarrow \boxed{Q_0 \simeq 0{,}96Q}$$

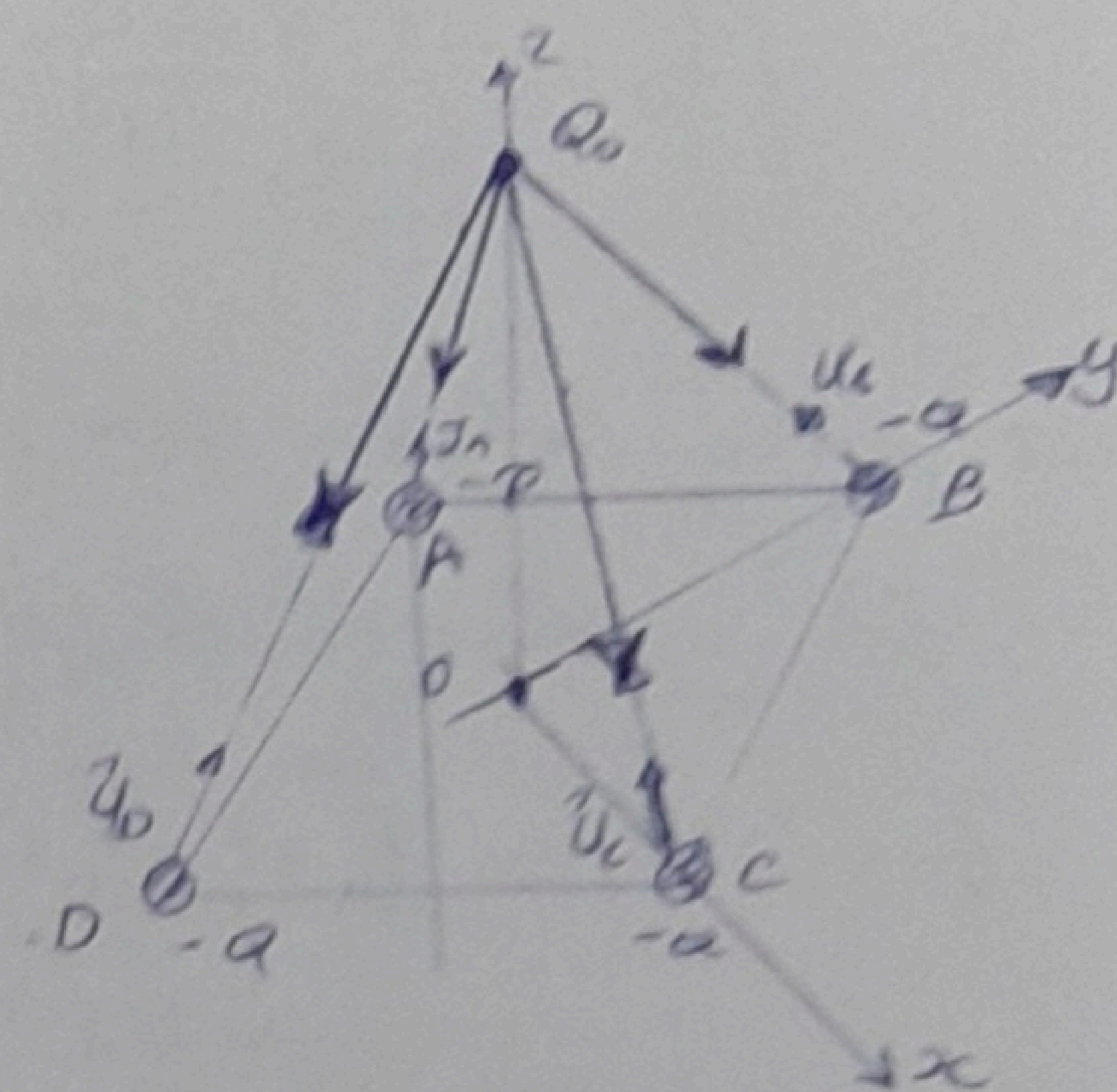
2°/ Si on éloigne Q_0 et on la fixe au point $P(0,0,a\sqrt{2})$

La force totale exercée sur Q_0 est égale à la somme des forces qu'exerce chacune des charges aux sommets du carré

(Principe de superposition)

- Action de Q_A sur Q_0 : $Q_A<0$, $Q_0>0$ ⇒ attraction

$$\vec{F}_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{-QQ_0}{|\vec{AP}|^2}\,\vec{u}_A = \frac{-1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{0{,}96\,Q^2}{|\vec{AP}|^2}\,\vec{u}_A$$



- Action de Q_B sur Q_0 ; $Q_B<0$, $Q_0>0$ ⇒ attraction

$$\vec{F}_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{-QQ_0}{|\vec{BP}|^2}\,\vec{u}_B = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{0{,}96\,Q^2}{|\vec{BP}|^2}\,\vec{u}_B$$

- Action de Q_C sur Q_0 ; $Q_C<0$, $Q_0>0$ ⇒ attraction

$$\vec{F}_C = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{-QQ_0}{|\vec{CP}|^2}\,\vec{u}_C = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{0{,}96\,Q^2}{|\vec{CP}|^2}\,\vec{u}_C$$

- Action de Q_D sur Q_0 ; $Q_D<0$, $Q_0>0$ ⇒ attraction

$$\vec{F}_D = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{-QQ_0}{|\vec{DP}|^2}\,\vec{u}_D = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{0{,}96\,Q^2}{|\vec{DP}|^2}\,\vec{u}_D$$

on a : $|\vec{AP}| = |\vec{BP}| = |\vec{CP}| = |\vec{DP}| = \sqrt{\frac{a^2}{2}+\frac{a^2}{2}} = a$

l'angle entre $\vec{u}_A$ et $\vec{Ox}$ est de "$\pi/2$" qui est le même que entre $\vec{u}_B$ et $\vec{Oy}$ $(\vec{u}_D, \vec{Oy})$ et $(\vec{u}_C, \vec{Ox})$

$$\Rightarrow \quad \vec{u}_A = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{i}+\vec{k}) \; ; \; \vec{u}_B = \frac{1}{\sqrt{2}}(-\vec{j}+\vec{k}) \, , \; \vec{u}_C = \frac{1}{\sqrt{2}}(-\vec{i}+\vec{k}) , \; \vec{u}_D = \frac{1}{\sqrt{2}}(\vec{j}+\vec{k})$$

La force totale : (Principe de superposition) :

$$\vec{F} = \vec{F}_A+\vec{F}_B+\vec{F}_C+\vec{F}_D = -\left(\frac{0{,}96\,Q^2}{4\pi a^2}\right)\left[\vec{u}_A+\vec{u}_B+\vec{u}_C+\vec{u}_D\right] = -\frac{0{,}96\,Q^2}{4\pi\varepsilon_0 a^2}\cdot\frac{4}{\sqrt{2}}\vec{k}$$

$$\boxed{\vec{F} = -\frac{0{,}96}{\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q}{a}\right)^2\vec{k}}$$

3°/ Le champ créé au point $\vec{P}$:

La force exercée par les 4 charges des sommets du carré sur Q_0 est $\vec{F} = q_0\vec{E}$: $\vec{E}$: est le champ créé par l'ensemble des 4 charges aux sommets du carré. alors

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{F}{0{,}96Q} = \frac{-Q^2}{\pi\varepsilon_0 a^2}\vec{k} \Rightarrow \boxed{\vec{E} = -\frac{1}{\pi\varepsilon_0}\,\frac{Q}{a^2}}$$