

SOLUTIONS

**Professeur** Marc de Montigny  
**Date** Jeudi 4 mars 2021, de 8h30 à 9h50  
**Local** En ligne. Les questions seront envoyées par courriel et affichées sur le web.

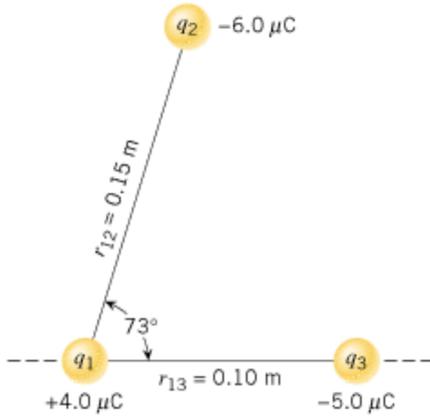
**INSTRUCTIONS**

- L'examen contient 7 questions sur trois pages. Vous pouvez écrire vos solutions et réponses sur des feuilles séparées ou une tablette, et vous m'enverrez des photos ou scans par courriel à mdemonti@ualberta.ca avant 9h50.
- L'examen vaut 20 points. Vos deux meilleurs examens, parmi les trois, vaudront chacun 20% de la note finale du cours.
- Vous pourrez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est fausse. Vous perdrez des points si vous ne donnez que la réponse finale sans explication.
- Examen à livre ouvert, avec droit à vos notes et au manuel. N'utilisez ni l'internet (sauf pour m'écrire), ni vos téléphones. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire que vous aurez complété.
- Ajoutez une phrase semblable à "J'atteste que j'ai fait l'examen seul, sans aide ni discussion avec d'autres personnes".
- Je serai accessible par courriel (à mdemonti@ualberta.ca ) pendant l'examen.
- Je superviserai l'examen via [Zoom](#), auquel vous vous brancherez peu avant 8h30, en gardant vos caméras ouvertes et micros fermés, sans écouteurs.

**Si quelque chose n'est pas clair, demandez-moi  
de clarifier!**

**Question 1. Forces électriques [3.0 points]**

La figure ci-dessous montre trois charges dans un plan. Calculez la *grandeur* et la *direction* de la force électrique nette sur  $q_1$  causée par les charges  $q_2$  et  $q_3$ .



**Solution** Les réponses sont obtenues de  $\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13}$ . On a

$$F_{12} = \frac{k|q_1||q_2|}{r_{12}^2} = 9.6 \text{ N}, \quad \mathbf{F}_{12} = F_{12} \cos(73^\circ)\mathbf{x} + F_{12} \sin(73^\circ)\mathbf{y} = 2.8068\mathbf{x} + 9.1805\mathbf{y}$$

et

$$F_{13} = \frac{k|q_1||q_3|}{r_{13}^2} = 18 \text{ N}, \quad \mathbf{F}_{13} = F_{13}\mathbf{x} = 18\mathbf{x}$$

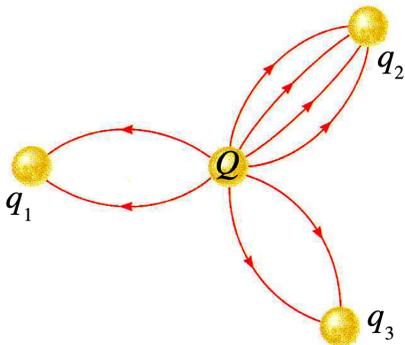
ce qui donne

$$\mathbf{F}_1 = (2.8068\mathbf{x} + 9.1805\mathbf{y}) + 18\mathbf{x} = 21\mathbf{x} + 9.2\mathbf{y} \rightarrow \boxed{F_{12} = 23 \text{ N}, \theta = 24^\circ}$$

où  $\theta$  est au-dessus de l'axe  $+x$ .

**Question 2. Lignes de champ électrique [2.0 points]**

La figure ci-dessous montre les lignes de champ électrique produites par quatre charges fixes dans un plan. Si la *grandeur* de la charge  $Q$  vaut  $8.4 \mu\text{C}$ , quelles sont les grandeurs et les signes des charges  $q_1$ ,  $q_2$  et  $q_3$ ?



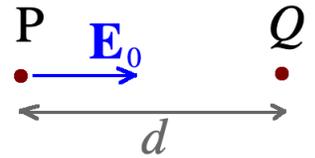
**Réponses:**  $q_1 = q_3 = -2.1 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = -4.2 \mu\text{C}$  car 8 lignes quittent  $Q$  (+), 4 lignes pointent vers  $q_2$  (-) et 2 lignes vers  $q_1$  et  $q_3$  (-).

**Question 3. Champ électrique [2.0 points]**

En un point P situé à une distance  $d$  à gauche d'une charge  $Q$ , le champ électrique créé par cette charge a comme grandeur  $E_0$  et pointe vers la droite.

(a) Quel est le signe de la charge  $Q$ ?

(b) Quelle est la grandeur du champ, en termes de  $E_0$ , à une distance  $\frac{1}{2}d$  à gauche de la charge  $Q$ ? (Votre réponse sera un nombre fois  $E_0$ .)



Réponses: (a) négatif, (b)  $4E_0$  car le champ pointe vers  $Q$ ; aussi  $E_0 = kQ/d^2$  et donc  $E = kQ/(d/2)^2 = 4kQ/d^2 = 4E_0$

**Question 4. Force et champ électriques [3.0 points]**

Un électron (masse  $9.11 \times 10^{-31}$  kg, charge  $1.60 \times 10^{-19}$  C) se trouve dans une région où le champ électrique est décrit par  $\mathbf{E} = 870 \mathbf{x} - 450 \mathbf{y}$  N/C. Si la force due à  $\mathbf{E}$  est la seule force qui agit sur cet électron, quelles sont la grandeur et la direction de l'accélération de l'électron? (Définissez clairement l'angle que vous donnerez.)

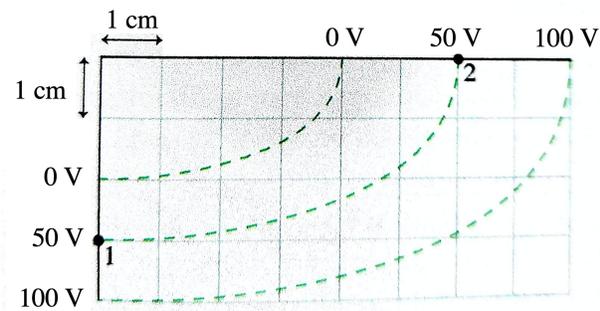
Solution De  $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$  et  $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$ , on calcule

$$\mathbf{a} = \frac{q}{m} \mathbf{E} = \frac{-1.6 \times 10^{-19}}{9.11 \times 10^{-31}} (870\mathbf{x} - 450\mathbf{y}) = (-15.28\mathbf{x} + 7.903\mathbf{y}) \times 10^{13} \text{ m/s}^2$$

qui pointe à gauche vers le haut, d'où  $a = 1.72 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$  et  $\theta = 27.3^\circ$  au-dessus de l'axe  $-x$   
 [J'ai accepté aussi  $\theta = 27.3^\circ$  sous l'axe  $+x$  parce que la question suggérait  $q_e = +e$ , qui est faux...]

**Question 5. Potentiel électrique [3.0 points]**

La figure de droite illustre trois courbes équipotentielles représentées par des traits hachurés verts et superposées à une grille de carreaux de  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . Donnez la grandeur et la direction des champs électriques  $\mathbf{E}$  aux points 1 et 2.



Solutions Au point 1, si on se déplace de 1 cm vers  $+y$ , le potentiel change de  $-50$  V, de sorte que

$$E_y = -\frac{\Delta V}{\Delta y} = -\left(\frac{-50}{0.01}\right) = 5000 \text{ V/m},$$

et quand on se déplace le long de  $x$ ,  $V$  est constant, d'où  $E_x = 0$  V. Au point 2, si on déplace de 2 cm vers  $+x$ , le potentiel change de  $+50$  V, de sorte que

$$E_x = -\frac{\Delta V}{\Delta x} = -\frac{50}{0.02} = -2500 \text{ V/m},$$

et quand on se déplace le long de  $y$ ,  $V$  est constant, d'où  $E_y = 0$  V. En résumé, on a

Point 1:  $\mathbf{E} = 5000 \text{ V/m}$  vers le haut; Point 2:  $\mathbf{E} = 2500 \text{ V/m}$  vers la gauche

**Question 6. Conservation de l'énergie [3.5 points]**

À un point P, le potentiel électrique vaut  $V_P = 275$  V, et à un point Q, il vaut  $V_Q = 120$  V. Si un électron est lâché du repos du point P, il arrive au point X avec une énergie cinétique  $K$ . Si l'électron est plutôt lâché du repos du point Q, il arrive au point X avec une énergie cinétique  $3K$ . Calculez

- (a) l'énergie cinétique  $K$  et
- (b) le potentiel électrique  $V_X$  au point X.

**Solution** Avec l'équation de conservation de l'énergie pour les deux cas,  $K_i + qV_i = K_f + qV_f$ , nous avons

$$0 - eV_P = K - eV_X, \quad 0 - eV_Q = 3K - eV_X,$$

En soustrayant la première équation de la seconde, on obtient

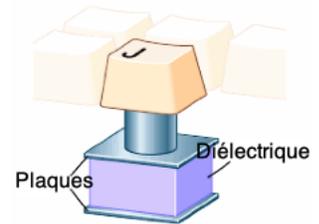
$$e(V_P - V_Q) = 2K, \quad K = \frac{e}{2}(V_P - V_Q) = \frac{1.6 \times 10^{-19}}{2}(275 - 120) = \boxed{77.5 \text{ eV} = 1.24 \times 10^{-17} \text{ J}}$$

En utilisant, par exemple, la première équation, on trouve

$$V_X = V_P + \frac{K}{e} = 275 + \frac{1.24 \times 10^{-17}}{1.6 \times 10^{-19}} = \boxed{353 \text{ V}}$$

**Question 7. Condensateurs [3.5 points]**

Dans des ordinateurs à clavier capacitif, chaque touche du clavier forme un condensateur plan dont la distance  $d$  est réduite quand on presse sur la touche. Supposez que chaque plaque ait une aire de  $48.5 \text{ mm}^2$  et une distance initiale  $d_i = 0.625 \text{ mm}$ . Un matériau de constante diélectrique 3.65 se trouve entre les plaques. Pour quelle distance finale  $d_f$  la capacité de la touche aura-t-elle changé de  $\Delta C = 0.415 \text{ pF}$ ?



**Solution** Le changement de capacité est

$$\Delta C = C_f - C_i = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d_f} - \frac{\kappa \epsilon_0 A}{d_i} = \kappa \epsilon_0 A \left( \frac{1}{d_f} - \frac{1}{d_i} \right) \rightarrow \frac{\Delta C}{\kappa \epsilon_0 A} = \frac{1}{d_f} - \frac{1}{d_i}$$

d'où

$$d_f = \left( \frac{\Delta C}{\kappa \epsilon_0 A} + \frac{1}{d_i} \right)^{-1} = \left[ \frac{0.415 \times 10^{-12}}{(3.65)(8.85 \times 10^{-12})(48.5 \times 10^{-6})} + \frac{1}{0.625 \times 10^{-3}} \right]^{-1} = \boxed{0.536 \text{ mm}}$$

Bonne chance!