

Nom

SOLUTIONS

Numéro _____

Professeur Marc de Montigny
Date jeudi 16 mars 2023, de 8h30 à 9h50
Lieu local 366

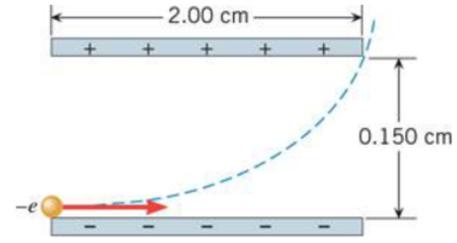
INSTRUCTIONS

- Cet examen contient **6 pages**, incluant celle-ci. Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs; je ne le corrigerai pas, sauf si vous m'indiquez de le faire.
- L'examen contient **10 questions**: 4 questions longues et 6 questions à choix multiple.
- L'examen contient **20 points** et vaut **20%** de la note finale du cours. Vous pourrez obtenir une partie des points pour les questions longues, même si des réponses finales sont erronées. Il n'y a pas de fraction de points pour les questions à choix multiple.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez complété. Vous perdrez 5/20 si vous y avez inclus des solutions ou si vous ne retournez pas votre aide-mémoire avec l'examen.
- Matériel permis: aide-mémoire, crayon ou stylo, calculatrice (programmable ou graphique permise aussi). Tout autre appareil électronique ou moyen de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

**Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à
me demander de clarifier!**

Question 1. Champ électrique [3.0 points]

À la figure ci-contre, un électron (9.11×10^{-31} kg) entre horizontalement du côté inférieur gauche d'une paire de plaques parallèles chargées, et il sort en frottant le côté supérieur droit. Les plaques mesurent 2.00 cm de long et sont séparées de 0.150 cm. Si la vitesse initiale de l'électron vaut 6.80×10^6 m/s et que le champ électrique E entre les plaques est uniforme, que vaut E ? (Ne considérez pas la gravité.)



Solution

Dans la direction x , on a $a_x = 0$, de sorte que $x = v_{0x}t$ avec $v_{0x} = 6.80 \times 10^6$ m/s. Avec $x = 0.02$ m, on calcule le temps de passage: $t = x/v_{0x} = 0.02/(6.80 \times 10^6) = 2.9412 \times 10^{-9}$ s.

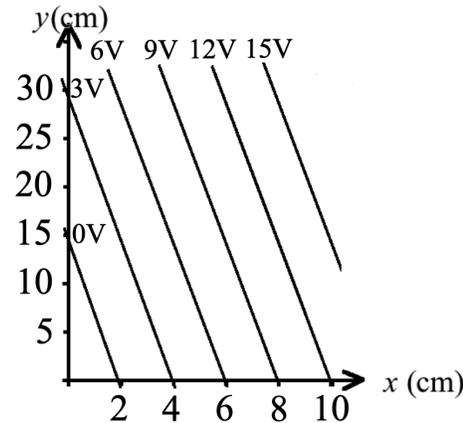
Pendant ce temps, l'électron accélère vers le haut avec $a_y = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m}$, et sa hauteur est donnée par $y = v_{0y}t + \frac{1}{2}a_yt^2$, où $v_{0y} = 0$, ce qui donne

$$y = \frac{1}{2}a_yt^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2 \rightarrow E = \frac{2my}{et^2} = \frac{2(9.11 \times 10^{-31})(1.5 \times 10^{-3})}{(1.6 \times 10^{-19})(2.9412 \times 10^{-9})^2} = 1974.56 \approx \boxed{1970 \text{ V/m}}$$

Question 2. Potentiel électrique [2.5 points]

La figure ci-contre représente des lignes équipotentiels électriques dans le plan x - y .

- (a) Quelles sont les composantes E_x et E_y du champ électrique?
 (b) Quelle est la direction du champ \mathbf{E} ?



Solution

(a) On calcule $E_x = -\frac{\Delta V}{\Delta x} = -\frac{3}{0.02} = -150$ V/m et $E_y = -\frac{\Delta V}{\Delta y} = -\frac{3}{0.15} = -20$ V/m, donc

$$\boxed{E_x = -150 \text{ V/m}, E_y = -20 \text{ V/m}}$$

(b) \mathbf{E} pointe vers le bas à gauche, perpendiculairement aux équipotentiels, à $\theta = \arctan \frac{20}{150} = 7.6^\circ$ sous l'axe $-x$, ou 187.6° de l'axe $+x$

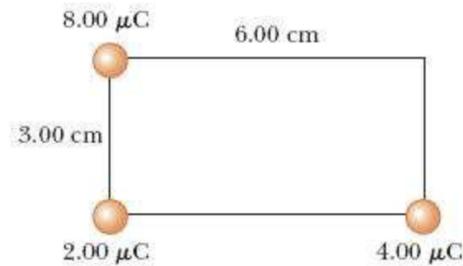
[suite en p. 3...]

Question 3. Énergie potentielle électrique [3.0 points]

Trois charges sont situées aux coins d'un rectangle, tel que montré à droite.

(a) Quel serait le travail par une force externe (non-électrique) requis pour déplacer la charge $8.00 \mu\text{C}$ de cette position initiale jusqu'à l'infini? (Rappel: ce travail est donné par le changement d'énergie potentielle électrique pour toutes les *paires* de charges.)

(b) D'après le signe de votre réponse en (a), la charge de $8.00 \mu\text{C}$ est-elle donc attirée ou repoussée par les deux autres charges?



Solution

(a) On calcule $W_{ext} = \Delta U_{8,2} + \Delta U_{8,4} + \Delta U_{2,4}$, où $\Delta U_{2,4} = 0$ car les charges 2 et 4 ne bougent pas. Vu que, la charge $8.00 \mu\text{C}$ sera à l'infini, on a $\frac{1}{r} \rightarrow \infty$, et on calcule

$$W_{ext} = U_{8,2,f} - U_{8,2,i} + U_{8,4,f} - U_{8,4,i} = -U_{8,2,i} - U_{8,4,i} = -\frac{kq_8q_2}{r_{82}} - \frac{kq_8q_4}{r_{84}}$$

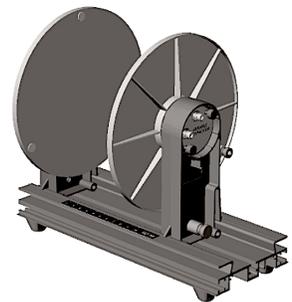
On calcule donc

$$W_{ext} = -kq_8 \left(\frac{q_2}{r_{82}} + \frac{q_4}{r_{84}} \right) = -(8.99 \times 10^9)(8 \times 10^{-6}) \left(\frac{2 \times 10^{-6}}{(0.03)} + \frac{4 \times 10^{-6}}{\sqrt{(0.03)^2 + (0.06)^2}} \right) = \boxed{-9.08 \text{ J}}$$

(b) La charge de $8.00 \mu\text{C}$ est car un travail externe négatif indique qu'il faut la retenir.

Question 4. Condensateurs plans [1.5 point, pas de fraction de point]

On construit un condensateur plan, montré à droite, avec deux disques de diamètre de 22.0 cm et séparés de 0.950 cm. L'espace entre ces disques est rempli de papier de constante diélectrique $\kappa = 3.7$. Si on branche ce condensateur à une pile de 1.50 volt, quelle sera la grandeur de la charge électrique sur chaque plaque? (Encerchez la meilleure réponse.)



- A. $5.31 \times 10^{-11} \text{ C}$
- B. 0.197 nC
- C. 0.349 nC
- D. 0.592 nC
- E. 0.786 nC

Réponse: B

La capacité vaut $C = \kappa\epsilon_0 A/d = \frac{\kappa\epsilon_0\pi D^2}{2^2d}$, et la charge $Q = CV$, ce qui donne

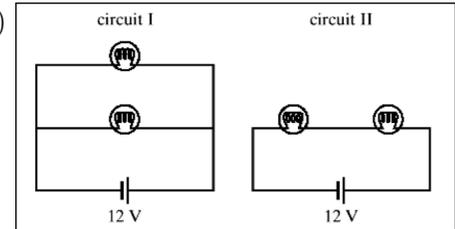
$$Q = \frac{\kappa\epsilon_0\pi D^2}{2^2d} V = \frac{(3.7)(8.85 \times 10^{-12})\pi(0.22)^2(1.5)}{4(9.5 \times 10^{-3})} = 1.965 \times 10^{-10} \text{ C} = \boxed{0.197 \text{ nC}}$$

[suite en p. 4...]

Question 5. Combinaisons de résistances [1.0 point, pas de fraction de point]

Les ampoules dans les deux circuits ci-contre sont identiques, avec la même résistance R . Quel circuit produit de la lumière (reliée à la *puissance* dissipée) plus intense?

- A. Circuit I
- B. Circuit II
- C. Les deux sont identiques
- D. Cela dépend de R
- E. Manque d'information



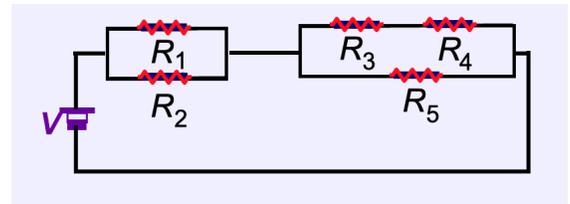
Réponse: A

Dans le circuit I, les ampoules sont en parallèle, d'où $R_{\text{eq}} = \frac{1}{2}R$. Ainsi, le circuit I va tirer un courant plus élevé, ce qui conduit à plus de lumière, car $P = IV$. (À l'inverse, dans le circuit II, $R_{\text{eq}} = 2R$, ce qui réduit le courant, ce qui donne la même réponse.)

Question 6. Lois de Kirchhoff [1.5 point, pas de fraction de point]

Par quelle résistance passe un plus grand courant? Toutes les résistances sont identiques.

- A. R_1
- B. R_1 et R_2 à égalité
- C. R_3 et R_4
- D. R_5
- E. Toutes égales



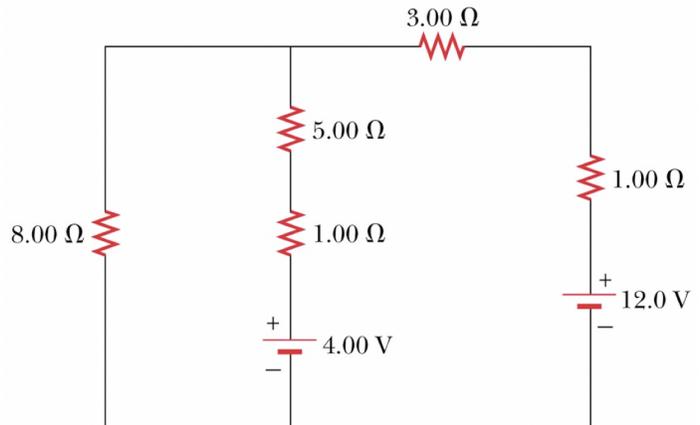
Réponse: D

Le même courant passe par les combinaisons gauche et droite. À gauche, le courant se divise également, d'où $I_1 = I_2$. À droite, plus de courant passera par R_5 que $R_3 + R_4$ puisque la branche avec R_5 a moins de résistance.

[suite en p. 5...]

Question 7. Lois de Kirchhoff [3.5 points]

Déterminez le courant (grandeur et sens) dans chaque branche du circuit montré ci-dessous.



Solution

De gauche à droite, prenons I_1 vers le bas, I_2 vers le haut et I_3 vers le haut. Les lois de Kirchhoff donnent:

$$I_1 = I_2 + I_3, \quad 4 - 6I_2 - 8I_1 = 0, \quad 12 - 4I_3 - 8I_1 = 0$$

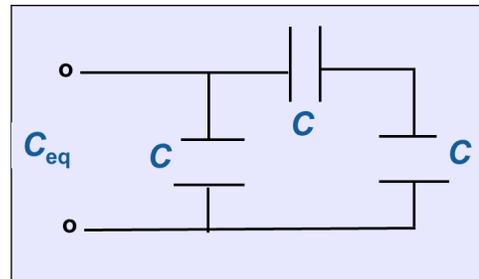
(De plus, on a $12 - 4I_3 + 6I_2 - 4 = 0$.) En résolvant, on trouve

$$I_1 = \frac{11}{13} \text{ A } \downarrow, \quad I_2 = -\frac{6}{13} \text{ A } \downarrow, \quad I_3 = \frac{17}{13} \text{ A } \uparrow$$

Question 8. Combinaisons de condensateurs [1.0 point, pas de fraction de point]

Quelle est la capacité équivalente de la combinaison de condensateurs ci-jointe, en termes de C ?

- A. $C_{\text{eq}} = \frac{1}{3}C$
- B. $C_{\text{eq}} = \frac{1}{2}C$
- C. $C_{\text{eq}} = \frac{2}{3}C$
- D. $C_{\text{eq}} = \frac{3}{2}C$
- E. $C_{\text{eq}} = 3C$



Réponse: D

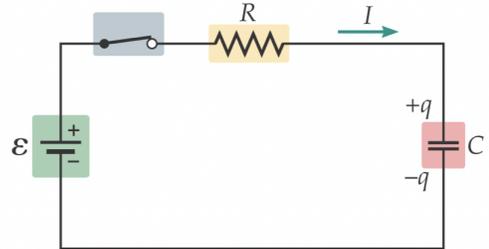
Les 2 condensateurs en série ont la capacité $\frac{1}{2}C$, qui est en parallèle avec C , et donne $C_{\text{eq}} = \frac{3}{2}C$.

[suite en p. 6...]

Question 9. Circuits RC [1.5 point, pas de fraction de point]

Le circuit RC de droite contient une résistance dont $R = 1200$ ohms, une fém de $\mathcal{E} = 12$ V et un condensateur avec $C = 1$ mF. Longtemps après avoir fermé l'interrupteur, quelle sera la charge aux bornes du condensateur?

- A. 0.0 C
- B. 12 mC
- C. 1.2 C
- D. 12 C
- E. Aucune de ces réponses



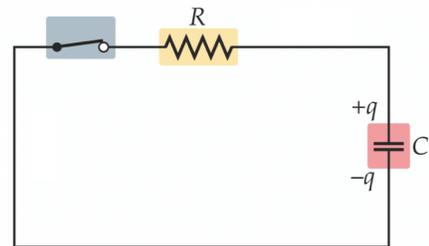
Réponse: B

On calcule $Q_{max} = C\mathcal{E} = (10^{-3})(12) = 12$ mC

Question 10. Circuits RC [1.5 point, pas de fraction de point]

Un circuit RC compte une résistance de $R = 1200$ ohms et un condensateur de $C = 1$ mF. Il n'y a pas de fém. Initialement, la charge du condensateur vaut 0.2 C et l'interrupteur est ouvert. Si on ferme l'interrupteur à $t = 0$, à quel t la charge aux bornes du condensateur vaudra-t-elle 0.3 C?

- A. 0.0 s
- B. 0.49 s
- C. 1.2 s
- D. Un temps infini
- E. Aucune de ces réponses



Réponse: E

À $t = 0$ s, la charge vaut 0.2 C puis décroît; elle ne peut donc jamais valoir 0.3 C.

Bonne chance!