

Unité VIII

L'électrostatique

Introduction

En S1, tu as débuté ton étude de l'électrostatique à un niveau qualitatif avec ton introduction aux concepts de charge, de forces d'attraction et de répulsion et de façons d'électriser les objets. En physique 30S, le concept de champ électrique autour de charges (ponctuelles ou sur plaques) seules ou en groupes a été examiné. En plus, les similarités et les différences entre les équations $\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}$ et $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$ ont été discutées. On continuera, en physique 40S, la découverte de nouvelles variables et de nouvelles relations, propres à l'électrostatique. En particulier, on fera le lien entre deux des plus grandes lois de la physique, soit la loi de la gravitation universelle de Newton, étudiée à l'unité VII, et la loi de Coulomb en électrostatique.

1. La loi de Coulomb

Suite à l'expérience de laboratoire récemment complétée en électrostatique, voici ce que tu aurais dû conclure :

La force électrique entre deux sphères chargées est inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. On appelle cette relation une *relation de l'inverse du carré*.

En 1785, Charles Coulomb en arriva à la même conclusion.

En plus, il remarqua que cette force était directement proportionnelle au produit des charges représentées par Q_1 et Q_2 .

Ces relations sont appelées la **loi de Coulomb**. Elle peut être représentée à l'aide des symboles de la façon suivante:

$$F_e \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

ou $F_e = \frac{kQ_1 Q_2}{r^2}$ (équation de la loi de Coulomb)

où F_e représente la force d'attraction ou de répulsion entre les sphères en newtons,
 r représente la distance entre le centre des sphères en mètres,
 Q représente la charge
et k est la constante de Coulomb.

Ceci soulève cependant deux questions :

(a) Que sont les unités des charges Q_1 et Q_2 ?

En 1909, Millikan démontre par une série d'expériences que la charge retrouvée sur des particules chargées peut seulement avoir certaines valeurs qui sont des multiples d'une charge qu'il appelle *charge élémentaire* (e). Il associe cette charge à celle de l'électron. Donc, la charge sur un objet en charges élémentaires (e) représentera le surplus ou la pénurie d'électrons sur l'objet. Étant donné que la charge d'un électron est très petite, on invente une unité, le coulomb (C), pour représenter une plus grosse charge.

$$1 \text{ C} = 6,24 \times 10^{18} e$$

ou $1 e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

(b) Que vaut la constante de Coulomb?

Étant donné que la charge peut être donnée en e ou en C, il y a deux valeurs de k .

- Calcul de k où q est en charges élémentaires.

En refaisant l'expérience de Millikan avec une « macrobalance » (un appareil de Millikan format géant...), on a mis en présence deux grosses sphères distantes de 15,0 cm, possédant chacune $2,5 \times 10^{11}$ charges élémentaires. Les sphères se repoussent avec une force de $6,7 \times 10^{-4} \text{ N}$.

En utilisant ces données, détermine la première forme de la constante de Coulomb en $\text{N}\cdot\text{m}^2/e^2$.

- Calcul de k où q est en coulombs.

Partant de la valeur trouvée ci-dessus et tenant compte du fait que 1 coulomb = $6,24 \times 10^{18} e$, détermine la deuxième forme de la constante de Coulomb en $\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$.

- Les deux formes de k , aujourd'hui, sont :

$$2,3 \times 10^{-28} \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{e^2} \text{ si } q \text{ est en } e$$
$$9,0 \times 10^9 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2} \text{ si } q \text{ est en } C$$

Exemples :

1. Soit les opérations suivantes :

Que vaut la charge de A et celle de B à l'étape b)?

2. Deux charges positives Q_1 et Q_2 sont éloignées l'une de l'autre d'une distance r . De combien doit-on varier la distance r pour que la force de répulsion soit $\frac{2}{9}$ aussi grande si la charge Q_1 est diminuée à 33% de sa valeur initiale?
3. Deux sphères séparées d'une distance de 1,58 m exercent l'une sur l'autre une force de répulsion de 2,00 N. Si une des sphères contient $1,2 \times 10^{25}$ charges élémentaires, que doit être la charge sur l'autre sphère?

Exercices :

Noter la valeur des constantes suivantes :

$k = 2,3 \times 10 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{e}^2}$	ou	$k = 9,0 \times 10 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$
$1 \text{ e} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$	ou	$1 \text{ C} = 6,24 \times 10^{18} \text{ e}$
$m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$	et	$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

1. À partir des opérations données ci-dessous, détermine le rapport entre la charge de A et la charge de B, après la 5^e opération.

2. Deux balles métalliques chargées A et B se repoussent avec une force de F newtons.
 - a) Suppose qu'on veuille diviser la charge de l'une des balles en deux. Quelle serait alors la force de répulsion entre les deux balles? Est-il important de savoir laquelle des deux balles a sa charge divisée en deux?
 - b) Quelle serait la force de répulsion entre les deux balles si la charge de chacune d'elles diminuait de moitié?
 - c) Avec la charge de chacune des balles réduites de moitié, de combien doit-on les rapprocher l'une de l'autre pour retrouver la force de répulsion originale?

4. Une petite charge A est à une distance r d'une grande charge B de signe contraire. De combien faut-il varier la distance r si on augmente la petite charge A d'un facteur de cinq et celle de B d'un facteur de 1,5 et qu'on conserve la même force?
5. Quelle charge porte un électroscope à feuilles ayant une pénurie de $5,0 \times 10^{11}$ électrons?
6. En 5,0 s, une charge électrique de 3,0 C passe dans le filament d'une ampoule. Combien d'électrons traversent le filament durant ce temps?
7. Deux particules, toutes deux chargées de $8,0 \times 10^{16}$ charges élémentaires, sont à 0,600 m l'une de l'autre. Quelle est la force exercée par les particules, l'une sur l'autre?
8. Pourquoi est-ce plus facile de retirer les électrons :
 - a) des atomes en descendant un groupe du tableau périodique?
 - b) des atomes en allant de droite à gauche dans une période du tableau périodique?
 - c) de la dernière couche électronique d'un atome que celles se trouvant plus à l'intérieur?
9. a) Suppose que les molécules de vinyle soient des cubes ayant des arêtes (côtés) d'environ $1,0 \times 10^{-9}$ m. Calcule la superficie, en mètres carrés, d'une des faces d'un cube.
b) Calcule la superficie, en mètres carrés, d'une bande de vinyle qui a 2,00 cm de large et 5,00 cm de long.
c) Combien y a-t-il de molécules de vinyle dans la couche superficielle de la bande?
d) Suppose que le frottement de cette bande avec une serviette de papier lui transmette une charge de $-1,6 \times 10^{-8}$ C. Combien y a-t-il d'électrons excédentaires à la surface de la bande?
e) Établis le rapport entre le nombre des molécules qui se trouvent à la surface de la bande et le nombre d'électrons excédentaires qui chargent cette même surface.
10. Deux charges égales de $0,11 \mu\text{C}$ subissent une force électrostatique de $4,2 \times 10^{-4}$ N. À quelle distance l'un de l'autre se trouvent les centres des deux charges?
11. Une charge X est à une distance r d'une charge Y du même signe. Si la distance entre X et Y est multiplié par un facteur de 6,4 et que la charge de X est réduite à 0,275 de sa valeur initiale, que doit-on faire à la charge de Y pour que la force de répulsion entre les charges deviennent 5,0 fois plus grande?
12. a) Une petite sphère porte une charge de $+2,0 \times 10^{13}$ e. Une seconde sphère du même diamètre reçoit une charge de $-5,0 \times 10^{13}$ e. et se fait placer à 10,0 cm de la première. Quelle est la force qui agit sur chacune des sphères?
b) Si ces deux sphères sont mises en contact et de nouveau séparées de 10,0 cm, que sera maintenant la force qui agira sur chacune des sphères?

13. Deux sphères ayant une distance de 0,300 m entre leurs centres reçoivent des charges de $+4,0 \times 10^8$ et $-7,0 \times 10^8$ respectivement. La force d'attraction entre les sphères est $7,2 \times 10^{-10}$ N. Pour augmenter la force à $9,6 \times 10^{-9}$ N, que devra être la nouvelle distance entre les sphères si on change leurs charge à $+7,0 \times 10^8$ et $-9,0 \times 10^8$ respectivement?
14. Deux sphères chargées, situées à 4,0 cm l'une de l'autre, s'attirent avec une force de $1,2 \times 10^{-9}$ N. Détermine la quantité de charge (en C) de chacune d'elles si l'une a le double de la charge de l'autre (mais de signe opposé).
15. On suppose qu'un électron unique et isolé est fixe au niveau du sol. À quelle distance au dessus de lui, à la verticale, devrait se trouver un autre électron pour que la masse de celui-ci soit supportée par la force de répulsion électrostatique régnant entre eux?
16. Un modèle de la structure de l'atome d'hydrogène consiste en un proton immobile et un électron se déplaçant en cercle autour de ce dernier sur un rayon de $5,3 \times 10^{-11}$ m.
- Quelle est la force électrostatique entre le proton et l'électron?
 - Quelle est la force gravitationnelle entre eux deux?
 - Quelle force est principalement responsable du mouvement centripète de l'électron?
 - Calcule la vitesse et la période de l'orbite de l'électron autour du proton.
17. Deux petites sphères identiques et chargées s'attirent avec une force de $8,00 \times 10^{-5}$ N, lorsqu'elles sont distantes de 30,0 cm. Elles sont mises en contact, puis écartées de nouveau de 30,0 cm, mais maintenant elles exercent l'une sur l'autre une force de répulsion de $1,00 \times 10^{-5}$ N.
- Quelle est la charge de chaque sphère après le contact?
 - Quelle était la charge de chacune avant le contact?

2. ASPECTS QUANTITATIFS DU CHAMP DE FORCE ÉLECTRIQUE (En partie, une révision de physique 30-S)

Symbole pour le champ de force électrique : \mathbf{E}

Le champ de force électrique à un endroit dans l'espace entourant un objet chargé (telle qu'une sphère ou une plaque) ou un ensemble d'objets chargés est la force électrique qu'il y aurait par charge positive unitaire (e ou C) placée à cet endroit.

Pour une sphère chargée, q_1 ,

mathématiquement, $\mathbf{E}_1 = \frac{\mathbf{F}_{e1-2}}{q_2}$ où \mathbf{F}_{e1-2} représente la force électrique que charge q_1 exerce sur q_2 .
(équation 1)

Unités pour \mathbf{E} : N/e ou N/C.

Cependant, disons que nous ne pouvons pas trouver \mathbf{F}_{e1-2} agissant sur une charge q_2 placée à l'endroit où on veut trouver la valeur de \mathbf{E}_1 dû à q_1 . Y a-t-il une autre équation pour trouver sa valeur? La réponse est oui.

Premièrement, quelle est l'équation pour la force électrique, \mathbf{F}_{e1-2} , agissant sur chacune de deux sphères de charges q_1 et q_2 séparées par une distance r ?

$$\mathbf{F}_e = \frac{kq_1q_2}{r^2} \quad (\text{équation 2})$$

En substituant équation 2 dans équation 1, on obtient une équation pour le champ électrique d'une sphère chargée q_1 à une distance r de cette charge.

$$\mathbf{E}_1 = \frac{kq_1}{r^2} \quad (\text{équation 3})$$

Inversement, si tu places une particule de charge q_2 (donnée en charges élémentaire, e, ou en coulombs, C) à un endroit où la valeur du champ électrique, \mathbf{E}_1 , est connue, la force électrique \mathbf{F}_{e1-2} agissant sur la particule sera :

$$\mathbf{F}_{e1-2} = q_2\mathbf{E}_1, \text{ qui se résume mathématiquement à } \mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$$

À noter : Même si nous n'avons parler que de la situation entre deux sphères chargées dans les notes ci-dessus, noter que l'équation, $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$, s'applique aussi à la situation d'une sphère chargée, q , dans le champ électrique constant, \mathbf{E} , de deux plaques parallèles et de charges opposées.

Exemples :

1. Une charge négative de $2,4 \times 10^{-6}$ C subit une force électrique d'une intensité de 3,2 N, agissant vers la gauche. Quels sont l'intensité, la direction et le sens du champ électrique en ce point?
2. Quelles sont l'intensité et l'orientation du champ électrique situé à 0,50 m d'une petite sphère ayant une charge positive de $1,6 \times 10^{-8}$ C?

Exercices :

1. Quelles sont l'intensité et l'orientation du champ électrique situé à 1,50 m à droite d'une charge ponctuelle positive de $8,0 \times 10^{-3}$ C?
2. a) Quelle est l'intensité du champ électrique à 0,50 m d'un noyau d'hélium ayant une charge de $+2e$?
b) Quelle est la force d'attraction que ressent un électron en ce point?
3. Deux plaques métalliques sont rapprochées et parallèles et portent des charges de signe contraire. Une force de $2,0 \times 10^{-8}$ N est exercée sur une sphère positive placée à mi-chemin entre les plaques. Quelle sera la force sur cette charge si on la rapproche d'une des plaques de telle sorte qu'elle soit deux fois plus proche d'une plaque que l'autre?
4. a) Si la valeur du champ électrique dans le diagramme ci-contre est $5,0 \times 10^2$ N/C, quelle est la grandeur et la direction de la force qui agit sur un électron qui se trouve dans ce champ électrique?
b) Quelle est l'accélération de cet électron si sa masse est $9,11 \times 10^{-31}$ kg?
c) Compare cette accélération avec celle due à la pesanteur.
d) Combien de temps prendrait l'électron, commençant du repos, pour atteindre 1/10 de la vitesse de la lumière ($c = 3,0 \times 10^8$ m/s)
5. Un champ électrique uniforme existe entre deux plaques parallèles portant des charges égales et de signe contraire. Un électron primitivement au repos s'échappe de la surface négativement chargée et frappe la surface de la plaque opposée, distante de 2,00 cm, dans un intervalle de temps de $1,5 \times 10^{-8}$ s.
a) Détermine l'intensité du champ électrique.
b) Calcule la vitesse de l'électron lors de l'impact avec la seconde plaque.

6. Selon le diagramme ci-dessous, un électron est projeté suivant l'axe médian des deux plaques d'un tube cathodique avec une vitesse initiale de $2,00 \times 10^7$ m/s. Le champ électrique uniforme entre les plaques est dirigé verticalement vers le haut et sa grandeur est de $2,00 \times 10^4$ N/C.
- De combien l'électron s'est-il déplacé en dessous de l'axe lorsqu'il atteint l'extrémité des plaques?
 - Quel angle fait sa trajectoire avec l'axe à la sortie des plaques?
 - À quelle distance en dessous de l'axe frappera-t-il l'écran fluorescent?

7. Un électron est projeté dans un champ électrique vertical, dirigé vers le haut, de grandeur $5,00 \times 10^3$ N/C. La vitesse initiale de l'électron est de $1,00 \times 10^7$ m/s et fait un angle de $30,0^\circ$ au-dessus de l'horizontale.
- Calcule le temps mis par l'électron pour atteindre sa hauteur maximum.
 - Calcule la hauteur maximum à laquelle l'électron s'élève verticalement au-dessus de sa hauteur initiale.
 - Après avoir franchi quelle distance horizontale l'électron rejoint-il sa hauteur initiale?
 - Dessine la trajectoire de l'électron.

3. Nature vectorielle du champ électrique et de la force électrique

Le champ électrique à un endroit donné peut être dû à plus d'une charge. Également, une particule chargée peut être soumise à plus d'une force électrique à un instant donné. Dans ces deux cas, on peut en déterminer la résultante par l'addition vectorielle de la même façon que nous l'avons fait à la deuxième unité. Les deux exemples ci-dessous illustreront ce propos.

Exemples :

1. a) Calcule l'intensité du champ électrique à mi-distance entre deux charges négatives de $3,2 \times 10^{-9} \text{ C}$ et $6,4 \times 10^{-9} \text{ C}$, distantes de 30,0 cm.
b) Que sera la force exercée sur un électron placé à ce point?
2. Étant donné la disposition de charges comme dans la figure ci-dessous où $q_1 = +1,5 \times 10^{-3} \text{ C}$, $q_2 = -5,0 \times 10^{-4} \text{ C}$, $q_3 = +2,0 \times 10^{-4} \text{ C}$, $AC = 1,20 \text{ m}$ et $BC = 0,50 \text{ m}$, trouve la force résultante sur la charge q .

Exercices :

1. Trois objets (A, B et C de même charge) sont disposés tels qu'indiqué sur le chemin ci-contre. La force électrique exercée par A sur B est de $3,0 \times 10^{-6} \text{ N}$.
 - a) Quelle est la force électrique exercée par C sur B?
 - b) Quelle est la force électrique résultante sur B?
2. Quelles sont l'intensité et l'orientation du champ électrique au point Z sur le schéma ci-dessous?
3. Trois sphères métalliques identiques ont les mêmes charges. Quand elles sont alignées et séparées de 10,0 cm l'une de l'autre, la force électrique sur la sphère de gauche est $1,0 \times 10^{-5} \text{ N}$.
 - a) Donne la direction de la force.
 - b) Quelle est la force électrique sur la sphère de droite?
 - c) Quelle est la force électrique sur la sphère au centre?
 - d) Si deux des trois sphères sont rapprochées l'une contre l'autre et placées à 10,0 cm de la troisième, que sera la force électrique sur la troisième?
4. Deux petites sphères ayant des charges respectives de $1,6 \times 10^{-5} \text{ C}$ et $6,4 \times 10^{-5} \text{ C}$ sont distantes de 2,00 m. Elles sont de même signe. Où, par rapport à ces deux objets, faut-il placer un troisième objet, de signe opposé et dont la charge est $3,0 \times 10^{-6} \text{ C}$, pour qu'il ne subisse aucune force électrique résultante? Est-il vraiment nécessaire de connaître la charge ou le signe du troisième objet?

5. Dans la figure ci-dessous, trouve le point (ou les points) où le champ électrique est zéro.
6. Supposons que nous placions trois petites sphères chargées également, comme l'indique le schéma ci-contre. La sphère C exerce une force de $4,0 \times 10^{-6}$ N sur B.
- Quelle force A exerce-t-elle sur B?
 - Quelle est la force résultante sur B?
 - Quelle est la valeur du champ électrique au point B?
7. Quatre sphères chargées identiques A, B, C et D, ayant chacune une charge de $5,0 \mu\text{C}$, sont situés aux quatre coins d'un carré dont les côtés ont $25,0$ cm de long. Si deux charges diagonalement opposées sont positives et les deux autres négatives, comme sur le dessin, calcule la force résultante agissant sur chacune d'elles.
8. Deux petites sphères chacune ayant une masse de $0,050$ g sont suspendues par de minces ficelles du même point. Lorsqu'on les charge également. Les deux sphères se séparent, les ficelles faisant un angle de $10,0^\circ$ entre elles. Quelle est la force de répulsion agissant sur chaque sphère? (Suggestion : a) Construis un diagramme vectoriel des forces agissant sur l'une des sphères. b) De façon vectorielle, la somme des forces (il y en a trois) est égale à zéro. c) Je te demande la valeur de la force de répulsion.)
9. Une charge Q est placée à chacun des coins opposés d'un carré. Une charge q est placée à chacun des autres coins. Si la force électrique nette sur Q est zéro, donne la relation entre la valeur de Q et celle de q.
10. Deux petites sphères identiques ayant une masse de $2,00$ g sont attachées aux extrémités d'un fil de pêche isolant, flexible, léger et long de $0,60$ m. Ce fil de pêche est suspendu, exactement en son milieu, par un crochet au plafond. Les sphères ont une charge électrique identique et sont en équilibre statique, avec un angle de $30,0^\circ$ entre les deux moitiés du fil, comme sur le dessin. Calcule la quantité de charge de chaque sphère.

4. Énergie potentielle électrique

L'énergie potentielle électrique (E_{pe}) est l'énergie emmagasinée dans un système électrique (système de deux sphères chargées ou plus ou sphère chargée entre plaques chargées) et qui peut être libérée pour faire du travail (W). C'est une grandeur scalaire avec des unités en joules (J).

Pour toutes situations :

$$W = \Delta E_{pe} = E_{pef} - E_{pei} .$$

Si $W = \Delta E_{pe} = +$, un agent externe fait du travail pour augmenter l'énergie potentielle électrique.

Si $W = \Delta E_{pe} = -$, le système de charges fait du travail pour diminuer l'énergie potentielle électrique.

Pour un système de charges ayant une énergie potentielle électrique, si l' E_{pe} diminue, E_c augmente proportionnellement, i.e., $\Delta E_c = -\Delta E_{pe}$ (Loi de conservation de l'énergie).

Noter aussi que $E_c = \frac{1}{2} m\mathbf{v}^2$ et $W = \mathbf{F}_d\Delta\mathbf{d}$, comme en mécanique.

Exemple 1:

Pour un ensemble de deux charges positives dont l'une est fixe, on augmente l'énergie potentielle du système par $4,0 \times 10^{-18}$ J en déplaçant l'autre à un point X. (Pour les questions b, c et e n'oublie pas d'indiquer le signe.)

- Qu'a-t-on fait à l'ensemble de charges?
- Que vaut ΔE_{pe} ?
- Que vaut W ?
- Quelle est la signification du signe de W ?
- Si on laisse les charges retourner à leur point de départ, que sera leur ΔE_{pe} ? ΔE_c (par rapport au point X)?
- Que sera l'énergie cinétique de la particule qui avait été éloignée lorsqu'elle passe par son point de départ?
- Si la particule a été déplacée $8,0 \times 10^{-8}$ m, que fut la force appliquée sur la particule? Est-ce une force qui demeure constante pendant le déplacement ou est-ce une force qui représente la moyenne pendant le déplacement? Explique.

Situations :

A. Sphère chargée dans un champ électrique de grandeur constante (entre deux plaques de charges opposées)

$$W = \mathbf{F}_e\Delta\mathbf{d} = \mathbf{Eq}\Delta\mathbf{d}$$

Exemple 2:

Un électron se détache de la plaque négative de l'ensemble de plaques ci-contre et accélère vers la plaque positive.

- Qui fait le travail – l'ensemble plaque/électron ou un agent externe?
- Calcule le travail fait par l'électron lorsqu'elle frappe la plaque positive?
- Quel est le changement dans l'énergie potentielle de l'électron?
- Quel est le changement dans l'énergie cinétique de l'électron?
- Quelle est la vitesse de l'électron lorsqu'elle frappe la plaque positive?

B. Système de sphères chargées

$$W = F_e \Delta d = \frac{kq_1q_2}{r^2} \Delta d$$

Des manipulations utilisant le calcul (une branche des mathématiques dont tu ne connais pas encore) nous donne :

$$W = \Delta E_{pe} = E_{pef} - E_{pei} = \frac{kq_1q_2}{r_f} - \frac{kq_1q_2}{r_i}$$

$$\text{Ceci implique que } E_{pe} = \frac{kq_1q_2}{r}$$

À noter :

- Inscrire le signe de la charge pour q_1 et q_2 dans l'équation afin d'obtenir le signe approprié pour E_{pe} .
- $E_{pe} = 0$ lorsque $r \rightarrow \infty$.
- $E_{pe} = +$ lorsque l'ensemble q_1 et q_2 ont le même signe.
- $E_{pe} = -$ lorsque l'ensemble q_1 et q_2 sont de signes contraires.
- ΔE_{pe} ne dépend que de la position relative des points final et initial et non de la trajectoire suivie par la charge en mouvement.

Exemple 3:

Une charge d'essai de $+ 1,0 \times 10^{-6} \text{ C}$ est située à 40,0 cm d'une sphère chargée de $+ 3,2 \times 10^{-3} \text{ C}$. Quelle quantité de travail a-t-il fallu pour la déplacer jusque là, depuis un point situé 100,0 cm de la sphère.

Exercices :

1. Une sphère chargée positivement est gardée fixe tandis qu'une deuxième sphère ayant une charge négative à proximité de la première peut être libérée de sa position. Deux secondes après avoir été lâchée cette sphère a une énergie cinétique de $5,0 \times 10^{-12}$ J.
 - a) Que font les charges?
 - b) Que vaut ΔE_c ?
 - c) Que vaut ΔE_{pe} ?
 - d) Que vaut W ?
 - e) Quelle est la signification du signe de W ?
2. Une sphère de charge positive ayant une masse de $7,0 \times 10^{-18}$ kg est placée contre la plaque négative d'un ensemble de deux plaques parallèles de signes opposés. Si on la déplace 4,00 cm plus près de la plaque positive son énergie potentielle change de $6,0 \times 10^{-15}$ J.
 - a) Que vaut ΔE_{pe} ?
 - b) Que vaut W ?
 - c) Quelle est la signification du signe de W ?
 - d) Quelle est la force appliquée sur la sphère? Est-ce une force qui demeure constante pendant le déplacement ou est-ce une force qui représente la moyenne pendant le déplacement? Explique.
 - e) Si on laisse aller la particule, que sera sa vitesse lorsqu'elle frappera la plaque négative?
3. On maintient au repos deux électrons distants de $1,0 \times 10^{-12}$ m, puis on les lâche. Avec quelle énergie cinétique et quelle vitesse chacun se déplace-t-il lorsqu'ils sont séparés d'une distance « importante »?
4. Quelle quantité de travail doit-on fournir pour amener deux protons séparés par une distance infinie à une distance de $1,0 \times 10^{-15}$ m l'un de l'autre?
5. Une petite boule de moelle de sureau ayant une masse de $1,0 \times 10^{-5}$ kg et une charge de $+ 5,0 \times 10^{-9}$ C est au repos à 25,0 cm d'une charge positive fixe de $5,0 \times 10^{-6}$ C. En négligeant les effets de la gravité et la résistance de l'air, détermine à quelle vitesse la boule de moelle de sureau se déplace lorsqu'elle est à 50,0 cm de l'autre charge.

5. Le potentiel électrique et la différence de potentiel

En électricité, on est souvent plus intéressé à l'énergie nécessaire ou libérée lorsqu'une unité de charge élémentaire (électron ou proton) ou un coulomb se déplace d'un point à un autre.

Nous aurons donc besoin d'une nouvelle variable, soit la différence de potentiel (ΔV) entre deux points dans un champ électrique. C'est le travail produit ou fourni par e ou C , lorsqu'une charge élémentaire ou coulomb est déplacé entre deux points.

Mathématiquement, $\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{\Delta E_{pe}}{q}$ où q , la charge test déplacée, est prise comme étant seulement +.

Unités pourraient être J/e ou J/C mais ce dernier est préférable et en somme le J/C s'équivaut au volt (V).

Noter que ΔV est un scalaire comme ΔE_{pe} .

Aussi,

si $\Delta V = +$, un agent externe fait du travail pour augmenter le potentiel électrique (V).

si $\Delta V = -$, le système de charges fait le travail et V diminue.

Situations :

A. Entre deux plaques de charges opposées (E est constant)

$$\Delta V = \frac{W}{q} = \frac{F\Delta d}{q} = \frac{Eq\Delta d}{q} = E\Delta d$$

Noter que V a une valeur de 0 à la plaque - (puisque une charge test + n'a absolument plus d' E_{pe} à la plaque -) et sa valeur maximum à la plaque +.

Exemples :

1. Compare le ΔV de l'ensemble de plaques ci-dessous.

2. La différence de potentiel entre deux plaques parallèles est de $1,5 \times 10^4$ V. Si 0,24 J de travail suffit à déplacer une petite charge d'une plaque à l'autre, quelle est la grandeur de la charge?

B. Autour d'une sphère chargée,

$$\begin{aligned}\Delta V &= \Delta E_{pe} = \frac{kq_1q_2}{q_2} - \frac{kq_1q_2}{q_2} \\ &= \frac{kq_1}{r_f} - \frac{kq_1}{r_i} \\ &= V_f - V_i\end{aligned}$$

Donc, le potentiel électrique, V , à une distance r d'une charge q est $V = kq/r$.

Noter :

1. Inscrire le signe de la charge pour q dans l'équation.
2. $V = 0$ lorsque $r \rightarrow 0$.
3. Pour une sphère $+$, V est toujours $+$.
4. Pour une sphère $-$, V est toujours $-$.

Ajoutons aussi que si :

$$\Delta V = \frac{\Delta E_{pe}}{q} \quad \text{ou}$$

$$\Delta E_{pe} = q\Delta V \quad \text{ou}$$

$$E_f - E_i = qV_f - qV_i$$

Donc, $E = qV$.

Exemples :

1. Détermine l'ordre de grandeur de l'énergie produite dans une génératrice électrostatique où il y a transfert d'une charge d'environ 1 nC sous une différence de potentiel de 10^2 kV.
2. Quelle différence de potentiel accélérerait un noyau d'hélium depuis le repos jusqu'à l'acquisition d'une énergie cinétique de $1,9 \times 10^{-15}$ J? ($q = +2e$, pour un noyau d'hélium)

Exercices :

1. La différence de potentiel entre deux plaques parallèles est de 8000 V. Si un électron « libre » ayant une masse de $9,1 \times 10^{-31}$ kg et une charge de $1,6 \times 10^{-19}$ C est lâché de la plaque négative, à quelle vitesse atteindra-t-il la plaque positive?
2. Quelle différence de potentiel faut-il pour accélérer un deutéron, ayant une masse de $3,3 \times 10^{-27}$ kg et une charge de $1,6 \times 10^{-19}$ C, depuis le repos jusqu'à une vitesse de $6,0 \times 10^6$ m/s?
3. Une particule alpha possède une charge positive de $2e$ et une masse de $6,6 \times 10^{-27}$ kg. À quelle vitesse une particule alpha atteindra-t-elle la plaque négative d'un appareil à plaques parallèles ayant une différence de potentiel de $2,0 \times 10^3$ V, si sa position de départ, au repos, est :
 - a) près de la plaque positive?
 - b) à mi-distance entre les plaques?

4. Un électron et un proton sont tous deux placés au repos à mi-chemin entre deux plaques métalliques chargées.
 - a) Dans quelle direction l'électron sera-t-il accéléré?
 - b) Dans quelle direction le proton sera-t-il accéléré?
 - c) Quelle particule, s'il y en a une, aura acquis plus d'énergie cinétique que l'autre juste au moment de frapper une plaque?
 - d) Quel est le rapport de leurs vitesses juste avant qu'elles frappent les plaques?
5. Un électron ayant une vitesse de $5,0 \times 10^6$ m/s est injecté dans un appareil à plaques parallèles par un trou de la plaque positive. Il se déplace dans le vide entre les plaques, entrant en collision avec la plaque négative à $1,0 \times 10^6$ m/s. Quelle est la différence de potentiel entre les plaques?
6. Dans un champ électrique uniforme, la différence de potentiel entre deux points distants de 10,0 cm est de 80,0 V. Calcule l'intensité du champ électrique.
7. L'intensité du champ électrique dans la région située entre deux plaques parallèles est de 400 N/C. Si les plaques sont reliées à une batterie ayant une différence de potentiel de 90,0 V, quel est l'espacement entre les plaques?
8. Quelle différence de potentiel doit-on maintenir entre les plaques d'un appareil à plaques parallèles distantes de 1,2 cm, pour créer un champ électrique d'une intensité de $1,5 \times 10^4$ N/C?
9. Une goutte d'huile, ayant une masse de $2,6 \times 10^{-15}$ kg, est suspendue entre deux plaques parallèles distantes de 0,50 cm et reste immobile lorsque la différence de potentiel entre les plaques vaut 270 V. Quelle est la charge de la goutte d'huile, et combien a-t-elle d'électrons en excès ou en défaut?
10. Détermine le potentiel électrique en volts et le champ électrique en N/C en un point situé à 0,40 m d'une petite sphère portant un excès de $1,0 \times 10^{12}$ électrons.
11. Il faut $4,2 \times 10^{-3}$ J pour déplacer $1,2 \times 10^{-6}$ C de charge d'un point X à un point Y dans un champ électrique. Quelle est la différence de potentiel entre X et Y?
12. Le potentiel à une distance de 25 cm d'une charge ponctuelle est de $-6,4 \times 10^4$ V. Que sont le signe et la grandeur de la charge ponctuelle?
13. Quelle quantité d'énergie est acquise par un électron quand il se déplace à travers d'une différence de potentiel de $\pm 2,5 \times 10^4$ V? Explique le type d'énergie acquise si le ΔV est +; s'il est -.
14. Calcule la différence de potentiel entre ton doigt et une bande chargée dans laquelle une charge de $3,0 \times 10^{-9}$ C produit une énergie de $1,5 \times 10^{-6}$ J juste avant qu'une étincelle ne se produise entre ton doigt et la bande.

- 15.** On a une charge positive Q de $5,0 \times 10^{-4} \text{ C}$ et 2 points X et Y qui sont respectivement à une distance de $0,50 \text{ m}$ et $0,40 \text{ m}$ de Q .
- Détermine la différence de potentiel du point X au point Y puis la différence de potentiel du point Y au point X .
 - Si en X on place une charge $q = 0,25 \mu\text{C}$, quel serait le travail nécessaire pour déplacer q de X vers Y ?
- 16.** Une balle de ping pong métallique, dont la masse est de $0,10 \text{ g}$, possède une charge de $5,0 \times 10^{-6} \text{ C}$. Quelle différence de potentiel, à l'intérieur d'un appareil à grandes plaques parallèles distantes de $25,0 \text{ cm}$, permettrait de garder la balle immobile?
- 17.** Dans une expérience de type Millikan, deux plaques horizontales sont distantes de $2,5 \text{ cm}$. Une sphère en latex dont la masse est de $1,5 \times 10^{-15} \text{ kg}$ reste immobile quand la différence de potentiel entre les plaques est de 460 V , la plaque supérieure étant positive.
- La sphère est-elle chargée positivement ou négativement?
 - Quelle est l'intensité du champ électrique entre les plaques?
 - Calcule la grandeur de la charge sur la sphère en latex.
 - Combien d'électrons en trop ou en moins la sphère porte-t-elle?
- 18.** Les noyaux de carbone ont une charge de $+6e$. À une distance de $1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$ d'un noyau de carbone, trouve a) le potentiel électrique; b) l'énergie potentielle d'un électron en joules et en électron-volts (eV). ($1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)
- 19.**
- Détermine, en volt, le potentiel électrique en un point A à une distance de $50,0 \text{ cm}$ d'une charge Q_1 de $3,2 \times 10^{14}$ charges élémentaires positives.
 - Quelle est l'énergie potentielle d'une charge $Q_2 = 2,0 \times 10^{14}$ charges élémentaires positives au point A ?
 - Quelle serait l'énergie cinétique finale acquise par la charge mobile Q_2 si on la laisse se déplacer librement du point A jusqu'à l'infini sous l'effet du champ électrique créé par la charge Q_1 .
 - On déplace la charge Q_2 du point A à un autre point B situé à $1,5 \text{ m}$ de la charge Q_1 . Détermine la différence de potentiel, ΔV_{BA} , et le travail nécessaire pour effectuer ce déplacement.
- 20.** Dans le modèle de Bohr de l'atome d'hydrogène, l'électron se déplace sur un cercle de rayon $5,29 \times 10^{-11} \text{ m}$. Trouve :
- le potentiel électrique dû au proton au niveau de ce cercle;
 - l'énergie potentielle de l'électron en joules et en électron-volts.

- 21.** (a) Si deux points ont le même potentiel électrique, est-il vrai qu'aucun travail n'est nécessaire pour déplacer une charge d'essai d'un point à l'autre?
(b) Cela signifie-t-il également qu'aucune force n'est nécessaire?
(c) Quelle quantité de travail faut-il pour déplacer une particule chargée à travers un champ électrique, si elle circule sur un trajet toujours perpendiculaire à une ligne du champ électrique?
(d) Comment varierait le potentiel sur un tel trajet?
- 22.** Une boule de moelle de sureau ayant une masse de $1,0 \times 10^{-5}$ kg et une charge positive de $4,0 \times 10^{-7}$ C est lentement tirée par un fil sur une distance de 50,0 cm à travers une différence de potentiel de $8,0 \times 10^2$ V. Elle est alors lâchée du repos et « retourne » à sa position initiale. Calcule;
(a) le travail effectué par le fil pour déplacer la boule de moelle de sureau;
(b) la force moyenne demandée pour ce travail;
(c) l'énergie cinétique avec laquelle la boule de moelle de sureau retrouve sa position initiale;
(d) sa vitesse lorsqu'elle retrouve sa position initiale.
- 23.** Un électron pénètre dans un appareil à plaques parallèles de 10,0 cm de long et de 2,0 cm de large, se déplaçant horizontalement à $8,0 \times 10^7$ m/s, comme l'indique le dessin. Si la différence de potentiel entre les plaques est de 600 V, détermine :
(a) la déviation verticale de l'électron par rapport à sa direction d'origine;
(b) la vitesse vectorielle (grandeur et orientation) à laquelle il quitte l'appareil à plaques parallèles.