CH 5 LE POTENTIEL ÉLECTRIQUE

CONSTANTES UTILES

$e = 1{,}602 \times 10^{-19}$ C

$k = 8{,}988 \times 10^{9} \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}$

$\varepsilon_0 = 8{,}854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}$

$m_P = 1{,}673 \times 10^{-27}$ kg

$1 \text{ eV} = 1{,}602 \times 10^{-19}$ J

ÉQUATIONS LIÉES AU CHAPITRE :

$\vec{F}_e = q\vec{E} = m\vec{a}$

$K = \frac{1}{2}mv^2$

$V = \sum \frac{kq}{r}$

$U_e = \sum_{i<j} \frac{kq_iq_j}{r_{ij}}$

$U_e = qV$

$\Delta V = -\vec{E} \bullet \overrightarrow{\Delta s}$

$\vec{A} \bullet \vec{B} = AB\cos\theta$

$\Delta K = -q\Delta V$

$W_{ext} = \Delta U$

$W_{ext} = q\Delta V$

$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$

$\Delta V = \pm E \cdot \Delta s_{||}$

5.1 L'ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLECTRIQUE D'UN SYSTÈME DE PARTICULES CHARGÉES

5.1 Exercice : L'énergie potentielle solution ▶

Calculez l'énergie potentielle des paires de charges suivantes :

a) Un noyau d'hydrogène (un proton) et son électron à $5{,}29 \times 10^{-11}$ m;
b) Les deux protons d'une particule α à $2{,}25 \times 10^{-15}$ m.
c) Deux charges identiques de 1 C à 1 m l'une de l'autre.

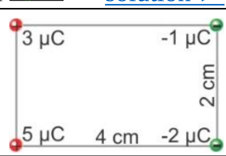
5.2 Question : Les interactions solution ▶

Combien de termes d'énergie potentielle doit-on additionner pour calculer l'énergie potentielle électrique d'un système comportant :

a) 2 charges;
b) 3 charges;
c) 4 charges;
d) 6 charges.

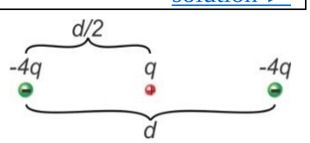
5.3 Exercice : L'énergie potentielle II solution ▶

Calculez l'énergie potentielle d'un système de quatre charges dont les valeurs et les positions sont indiquées sur la figure ci-contre.



5.4 Exercice : L'équilibre solution ▶

Les trois charges d'un système se trouvent sur une même droite et sont en équilibre dans la situation illustrée ci-contre.



a) Déterminez l'expression de l'énergie potentielle de ce système.
b) Si la valeur de la charge positive augmente, comment variera l'énergie potentielle électrique du système?

5.2 LE POTENTIEL ÉLECTRIQUE GÉNÉRÉ PAR DES PARTICULES CHARGÉES

5.5 Question : L'électronvolt solution ▶

Quel type de grandeur peut être exprimée en électronvolts?

5.6 Exercice : Le potentiel particulaire solution ▶

Déterminez le potentiel produit aux distances suivantes par les charges décrites :

a) À 1×10^{-10} m d'un proton;
b) À 8 cm d'une particule chargées de 2 μC;
c) À 1 km d'une charge de 1 C.

5.7 Exercice : Énergie et potentiel solution ▶

Quel doit être le potentiel à l'emplacement d'une charge de 25,0 μC pour que son énergie potentielle électrique soit de −3,50 mJ?

5.8 Exercice : La variation solution ▶

Déterminez par quel facteur varient les grandeurs suivantes si on double la distance d'éloignement :

a) La force électrique entre deux charges;
b) Le champ électrique produit en un point par une charge donnée;
c) L'énergie potentielle d'une paire de charges électriques;
d) Le potentiel électrique généré en un point par une charge donnée.

5.9 Exercice : La paire solution ▶

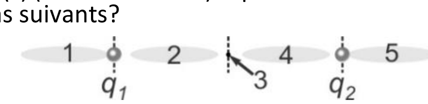
Une charge $q_1 = 2$ nC se trouve à l'origine et une charge $q_2 = -1$ nC à $x = 5$ cm. Déterminez le potentiel :

a) à $x = 2{,}5$ cm;
b) à $x = 5{,}2$ cm;
c) à $x = 15$ cm.
d) À la lumière des valeurs trouvées, combien d'endroits y a-t-il (autres qu'à l'infini) où le potentiel est nul? (Indice : esquissez un graphique du potentiel en fonction de la position.)
e) À quel(s) endroit(s) le potentiel est-il nul?

5.10 Question : La zone solution ▶

Dans quelle(s) zone(s) (excluant l'infini) le potentiel est-il nul dans chacun des cas suivants?

a) $q_1 = -q_2$;
b) $q_1 = q_2$;
c) $0 < q_1 = -2q_2$;
d) $q_1 = 2q_2$;



5.11 Exercice : Le triangle solution ▶

Trois charges $3q_1 = -2q_2 = q_3 = -6$ nC forment un triangle équilatéral de 10 cm de côté.

a) Quel est le potentiel au centre du triangle?
b) Combien y a-t-il d'emplacements où une charge de +6 nC rendrait nul le potentiel au centre du triangle?
c) Quelle serait l'énergie potentielle d'une charge de +1 nC placée au centre du triangle?

5.3 LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE

5.12 Exercice : Le champ horizontal solution ▶

Dans un champ uniforme de 50 $\frac{\text{V}}{\text{m}}$ orienté vers x positif déterminez la différence de potentiel observée lors d'un déplacement de l'origine aux points suivants :

a) $5\vec{\imath}$ m
b) $(2\vec{\imath} + 2\vec{\jmath})$ m
c) $3\vec{\jmath}$ m
d) $(-4\vec{\imath} - 3\vec{\jmath})$ cm

5.1- a) $-4{,}36 \times 10^{-18}$ J — b) $1{,}03 \times 10^{-13}$ J — c) $8{,}99 \times 10^{9}$ J — **5.2**- a) 1 — b) 3 — c) 6 — d) 15 — **5.3**- 2,51 J — **5.4**- $U_e = 0$ — b) Diminue — **5.5**- Énergie
5.6- a) 14,4V — b) 225kV — c) 8,99MV — **5.7**- −140V — **5.8**- a) ¼ — b) ¼ — c) ½ — d) ½ — **5.9**- a) 360 V — b) −4,15 kV — c) 30,0 V — d) 2 — e) 3,33 cm, 10,0 cm
5.10- a) 3 — b) ∅ — c) 4 et 5 — d) ∅ — **5.11**- a) −778 V — b) ∞ — c) $-4{,}86 \times 10^{12}$ eV — **5.12**- a) −250 V — b) −100 V — c) 0 V — d) +2,00 V

5.13 Exercice : L'angle solution ▶

Un champ électrique uniforme a pour vecteur $\vec{E} = (-550\vec{\imath} + 300\vec{\jmath})\,\frac{\text{mV}}{\text{m}}$. Quel est la différence de potentiel observée par une particule se déplaçant de 3,95 cm à une orientation de 220° dans le plan *xy*?

5.14 Exercice : La PPIUC solution ▶

Une plaque plane infinie uniformément chargée porte une charge de 1,75 nC par mètre carré. Un proton se détache de cette plaque et s'en éloigne perpendiculairement de 25 cm.

a) Quel est le module du champ électrique généré par cette plaque?
b) Quelle est la différence de potentiel observée par le proton sur son déplacement?
c) Quelle énergie cinétique gagnera ce proton après s'être éloigné de 25 cm de la plaque (en électronvolts)?
d) Quelle est le module de la vitesse du proton après cet éloignement de 25 cm?

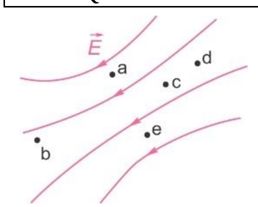
5.15 Exercice : Le travail solution ▶

Quel travail faut-il accomplir pour déplacer à vitesse constante une particule chargée de 825 μC sur une distance où la variation de potentiel est de –225 V?

5.16 Exercice : La chute solution ▶

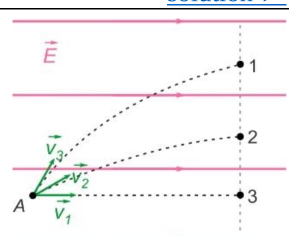
Une particule chargée de 625 μg et portant 55,0 μC est lâchée du repos à 10 cm d'une très grande plaque conductrice portant une charge de –18,0 μC par mètre carré. À quelle vitesse la particule atteindra-t-elle la plaque?

5.17 Question : Non uniforme solution ▶



Dans un espace au champ électrique non uniforme se trouvent cinq points identifiés. Classez ces cinq points en ordre croissant du potentiel.

5.18 Question : Trajectoires solution ▶



Soit une particule chargée se déplaçant dans un champ électrique uniforme et pouvant passer au point A selon trois vitesses de même module mais d'orientations différentes. Ces trois trajectoires feraient passer la particule par les points 1, 2 ou 3, tous situés sur une même droite perpendiculaire au champ. Laquelle de ces trajectoires entraînera le plus grand gain de vitesse entre le point A et les points 1, 2 ou 3?

5.19 Exercice : De l'infini solution ▶

Une charge de +6 μC se trouve en $(1\vec{\imath})$ cm et une charge de –10 μC en $(1\vec{\jmath})$ cm.

a) Quelle est le potentiel à l'origine?
b) On place à l'origine une particule chargée de 0,50 mg et de +1 μC, immobile. Quel travail faudra-t-il effectuer pour la déplacer à vitesse constante jusqu'à une distance infinie?
c) Quelle est son énergie potentielle une fois à l'infini et immobile?
d) La charge à l'infini laissée libre et est attirée par l'autre paire de charges. À quelle vitesse arrivera-t-elle à l'origine?

5.20 Question : Possible/Impossible solution ▶

Parmi les scénarios suivants, lesquels peuvent se produire dans un champ électrique uniforme sans échange d'énergie entre la particule décrite et un agent extérieur (une particule libre) :

a) Un proton accélère dans la direction du champ électrique;
b) Un neutron se déplace en sens inverse du champ électrique et accélère;
c) Une particule chargée positivement suit une trajectoire la faisant passer par deux points distants de même potentiel et passe à la même vitesse à ces deux endroits;
d) Un proton suit une trajectoire le faisant passer par deux points distants, dont le second est à un potentiel supérieur au premier, et passe plus rapidement au second point;
e) Une particule chargée négativement demeure immobile;
f) Un électron se déplace à vitesse constante perpendiculairement au champ électrique;
g) Une particule chargée négativement accélère dans la direction du champ électrique.

5.21 Exercice : PPIUC II solution ▶

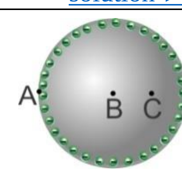
À 5 cm d'une PPIUC, le potentiel est de 2,50 V. Si la charge surfacique de cette plaque est de 6,90 nC/m², déterminez le potentiel à la surface de cette plaque.

5.22 Exercice : Dans le vide solution ▶

Lors d'une expérience réalisée en apesanteur dans une enceinte sans air, une petite bille de métal de 900 mg, immobile et portant 3,15×10^{12} électrons en excédent, se trouve à 50 cm de la surface d'une sphère métallique fixe de 10 cm de rayon et chargée de 850 nC. La bille étant attirée par la sphère, quelle sera sa vitesse au moment du contact?

5.4 LE POTENTIEL ÉLECTRIQUE ET CONDUCTEURS

5.23 Question : La sphère solution ▶



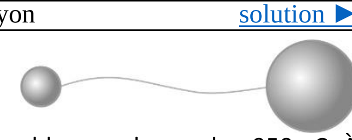
Soit une sphère conductrice chargée négativement dans un état d'équilibre électrostatique. Le potentiel à sa surface (point A) est de –100 V. Déterminez le potentiel :

a) au point B, au centre de la sphère;
b) au point C, à mi-chemin entre le centre et la surface.

5.24 Exercice : Le ballon solution ▶

Un ballon à la pellicule aluminisée a une forme ovoïde avec au sommet un rayon de courbure de 15 cm et en dessous un rayon de courbure de 9,5 cm. Après avoir été frotté contre différents matériaux, il accumule une charge négative. Si la charge surfacique au sommet du ballon est de –45 nC/cm², déterminez la charge surfacique sous le ballon.

5.25 Exercice : Double rayon solution ▶

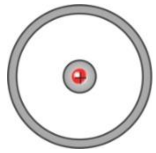


Deux sphère conductrices dont les rayons sont de 10 cm et 25 cm sont reliées par un fil métallique et portent ensemble une charge de –950 μC. À l'équilibre électrostatique, déterminez la charge que portera la plus petite sphère.

5.13 - –9,03 mV — **5.14** - a) 98,8 V/m — b) –24,7 V — c) 24,7 eV — d) 6,88×10^4 m/s — **5.15** - –0,186 J — **5.16** - 4,23×10^3 m/s — **5.17** - b < a = e < c < d — **5.18** - ∅ — **5.19** - a) –3,60 MV — b) 3,60 J — c) 0 — d)3,79×10^3 m/s — **5.20** - a), c), e), f) — **5.21** - 22,0 V — **5.22** - 8,45 m/s — **5.23** - a) –100,0 V — b) –100,0 V — **5.24** - –7,11×10^{-8} C/cm² — **5.25** - –271 μC

5.26 Exercice : La bille solution ►

Une coquille métallique creuse (non chargée) de 40 cm de diamètre abrite en son centre une bille chargée de 60 nC. Déterminez le potentiel à la surface de la coquille



5.26- 2,70 kV

CH 5 LE POTENTIEL ÉLECTRIQUE

5.1 L'ÉNERGIE POTENTIELLE ÉLECTRIQUE D'UN SYSTÈME DE PARTICULES CHARGÉES

5.1 Solution : L'énergie potentielle retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) $U_e = -4{,}36\times10^{-18}$ J

$$U_e = \frac{kq_1q_2}{r} = \frac{ke(-e)}{r} = \frac{-ke^2}{r} = \frac{-\left(8{,}988\times10^9\,\frac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right)\times\left(1{,}602\times10^{-19}\,\mathrm{C}\right)^2}{(5{,}29\times10^{-11}\,\mathrm{m})} = \mathbf{-4{,}36\times10^{-18}\,J}$$

b) $U_e = 1{,}03\times10^{-13}$ J

$$U_e = \frac{kq_1q_2}{r} = \frac{kee}{r} = \frac{ke^2}{r} = \frac{\left(8{,}988\times10^9\,\frac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right)\times\left(1{,}602\times10^{-19}\,\mathrm{C}\right)^2}{(2{,}25\times10^{-15}\,\mathrm{m})} = \mathbf{1{,}03\times10^{-13}\,J}$$

c) $U_e = 8{,}99\times10^{9}$ J

Si on calcule l'énergie potentielle et fait la conversion en électronvolts dans le même calcul :

$$U_e = \frac{kq_1q_2}{r} = \frac{kq^2}{r} = \frac{\left(8{,}988\times10^9\,\frac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right)\times(1\,\mathrm{C})^2}{1\,\mathrm{m}} = \mathbf{8{,}99\times10^{9}\,J}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

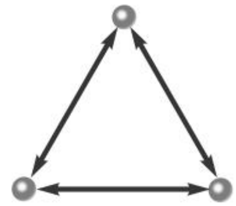
5.2 Solution : Les interactions retour à la question ▲

a) 1 interaction

Un système de deux charges possède une énergie potentielle calculée en un seul terme qui tient compte des deux charges présentes : $U_e = \frac{kq_1q_2}{r_{12}}$

Il n'y a donc qu'un terme dans le calcul de l'énergie potentielle.

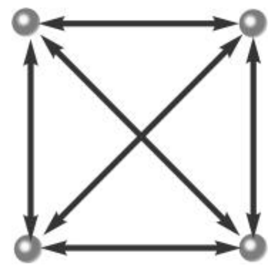
b) 3 interactions



Si le système comporte trois charges, les interactions de charges deux à deux sont au nombre de 3. Pour des charges q_1, q_2 et q_3, l'énergie potentielle du système s'obtient par :

$$U_e = U_{12} + U_{13} + U_{23}$$

c) 6 interactions



Avec quatre charges, si on considère une seule fois l'interaction de chaque paire de charges, l'énergie potentielle du système s'obtient par :

$$U_e = U_{12} + U_{13} + U_{14} + U_{23} + U_{24} + U_{34}$$

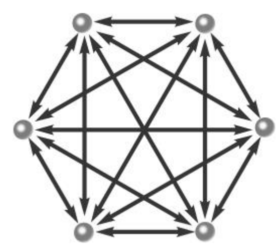
On constate que la charge q_1 est impliquée dans 3 termes (chacune des autres charges), la charge q_2 dans 2 nouveaux termes, et la charge q_3 dans 1 nouveau terme (et aucun nouveau terme pour la charge q_4).

Le nombre de termes est donc : $n = 3 + 2 + 1 + 0 = \mathbf{6}$

Il y a donc 6 termes à additionner.

retour à la question ▲

d) 15 interactions



Avec six charges, si on considère une seule fois l'interaction de chaque paire de charges, l'énergie potentielle du système s'obtient par :

$$U_e = U_{12} + U_{13} + U_{14} + U_{15} + U_{16} \quad + \quad U_{23} + U_{24} + U_{25} + U_{26} +$$
$$U_{34} + U_{35} + U_{36} \quad + \quad U_{45} + U_{46} \quad + \quad U_{56}$$

On constate que la charge q_1 est impliquée dans 5 termes (chacune des autres charges), la charge q_2 dans 4 nouveaux termes, la charge q_3 dans 3 nouveaux termes, la charge q_4 dans 2 nouveaux termes et la charge q_5 dans 1 nouveau terme (et aucun nouveau terme pour la charge q_6).

Le nombre de termes est donc : $n = 5 + 4 + 3 + 2 + 1 + 0 = \mathbf{15}$

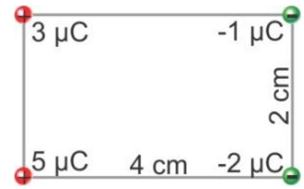
Il y a donc 15 termes à additionner.

retour à la question ▲

retour à la question ▲

5.3 Solution : L'énergie potentielle II retour à la question ▲

U_e = 2,51 J



En présence de quatre charges, l'énergie potentielle totale du système sera le résultat de l'addition de 6 termes. Par souci de simplicité, on peut nommer les charges à partir de leur valeur : q_1, q_2, q_3 et q_5. L'énergie potentielle est donc :

$$U_e = \sum_{i<j} \frac{kq_iq_j}{r_{ij}} = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_1q_5}{r_{15}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}} + \frac{kq_2q_5}{r_{25}} + \frac{kq_3q_5}{r_{35}}$$

Les distances r_{15} et r_{23} (identiques) ne sont pas données et peuvent être calculées préalablement :

$$r_{15} = r_{23} = \sqrt{(2\text{ cm})^2 + (4\text{ cm})^2} = 4{,}47\text{ cm}$$

On peut alors calculer l'énergie totale à partir des six termes décrits. Pour simplifier les calculs, on peut mettre en évidence la constante k et les unités de charge et de distance :

$$U_e = \left(8{,}988 \times 10^9\ \tfrac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right) \times \left(\frac{(-1)\times(-2)}{2} + \frac{(-1)\times 3}{4} + \frac{(-1)\times 5}{4{,}47} + \frac{(-2)\times 3}{4{,}47} + \frac{(-2)\times 5}{4} + \frac{3\times 5}{2}\right) \times \frac{(10^{-6}\text{ C})^2}{0{,}01\text{ m}} = \mathbf{2{,}51\ J}$$

retour à la question ▲

5.4 Solution : L'équilibre retour à la question ▲

retour à la question ▲

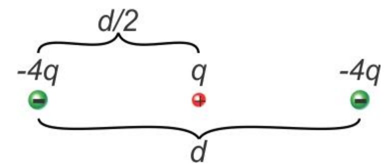
$U_e = 0$

L'énergie potentielle électrique d'un système de trois charges implique l'addition de trois termes :

$$U_e = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}} \qquad (1)$$

À partir des variables données, on pourra obtenir une expression simplifiée de l'énergie totale. En posant d'abord :

$$q_1 = -4q \qquad r_{12} = \frac{d}{2}$$
$$q_2 = +q \qquad \text{et} \qquad r_{13} = d$$
$$q_3 = -4q \qquad r_{23} = \frac{d}{2}$$



$$U_e = \frac{k\cdot(-4q)\cdot q}{\frac{d}{2}} + \frac{k\cdot(-4q)^2}{d} + \frac{k\cdot q\cdot(-4q)}{\frac{d}{2}} = -\frac{8kq^2}{d} + \frac{16kq^2}{d} - \frac{8kq^2}{d} = \mathbf{0}$$

La configuration des trois charges fait en sorte que l'énergie potentielle est nulle. Les contributions positives et négatives sont de mêmes grandeurs.

b) U_e diminuera

Reprenons l'équation (1) développée en a) pour y faire augmenter la valeur de la charge positive (la charge q_2 de l'équation (1)). Si on simplifie son expression :

$$U_e = \frac{k\cdot(-4q)\cdot q_2}{\frac{d}{2}} + \frac{k\cdot(-4q)^2}{d} + \frac{k\cdot q_2\cdot(-4q)}{\frac{d}{2}} = \frac{16kq^2}{d} - \frac{16kq\boldsymbol{q_2}}{d} = \frac{16kq}{d} \times (q - \boldsymbol{q_2})$$

On constate que l'augmentation de la valeur de q_2 entraînera une valeur négative dès que $q_2 > |q|$. L'énergie potentielle électrique totale va donc devenir négative si la charge positive augmente.

retour à la question ▲

5.2 LE POTENTIEL ÉLECTRIQUE GÉNÉRÉ PAR DES PARTICULES CHARGÉES

5.5 Solution : L'électronvolt retour à la question ▲

Une énergie

La piste de réflexion la plus simple est le facteur de conversion de l'électronvolt vers les joules : 1 eV = 1,602 × 10^{-19} J. Il s'agit donc nécessairement du même type de grandeur que les joules, une énergie.

retour à la question ▲

5.6 Solution : Le potentiel particulaire retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) V = 14,4 V

Le potentiel autour d'une charge électrique est donné par :

$$V = \frac{kq}{r}$$

À 1×10^{-10} m d'un proton, on aura :

$$V = \frac{\left(8{,}988\times10^9\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\times(1{,}602\times10^{-19}\ \text{C})}{(1\times10^{-10}\ \text{m})} = \mathbf{14,4\ V}$$

b) V = 225 kV

À 8 cm d'une charge de 2×10^{-6} C, le potentiel est :

$$V = \frac{\left(8{,}988\times10^9\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\times(2\times10^{-6}\ \text{C})}{0{,}08\ \text{m}} = \mathbf{225\ kV}$$

c) V = 8,99 MV

À 1 000 m d'une charge de 1 C, le potentiel est :

$$V = \frac{\left(8{,}988\times10^9\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\times1\ \text{C}}{1\ 000\ \text{m}} = \mathbf{8,99\ MV}$$

retour à la question ▲

5.7 Solution : Énergie et potentiel retour à la question ▲

V = –140 V

Une équation relie directement une charge, son énergie potentielle électrique et le potentiel à son emplacement :

$$U_e = qV \quad \rightarrow \quad V = \frac{U_e}{q} = \frac{(-3{,}50\times10^{-3}\ \mathrm{J})}{(25\times10^{-6}\ \mathrm{C})} = -\,\mathbf{140\ V}$$

retour à la question ▲

5.8 Solution : La variation retour à la question ▲

a) $F_e' = \frac{1}{4}F_e$

À partir de l'équation de la force électrique, on constate que la force varie en « $1/r^2$ » :

$$F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

Si la distance r double pour les mêmes deux charges, la force diminuera d'un facteur 4 :

$$F_e' = \frac{kq_1q_2}{(2r)^2} = \frac{kq_1q_2}{4r^2} = \frac{1}{4}\times\left(\frac{kq_1q_2}{r^2}\right) = \frac{1}{4}F_e$$

b) $E' = \frac{1}{4}E$

À partir de l'équation du champ électrique, on constate que le champ varie en « $1/r^2$ » :

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

Si la distance r double pour une même charge, le champ diminuera d'un facteur 4 :

$$E' = \frac{kq}{(2r)^2} = \frac{kq}{4r^2} = \frac{1}{4}\times\left(\frac{kq}{r^2}\right) = \frac{1}{4}E$$

c) $U_e' = \frac{1}{2}U_e$

À partir de l'équation de l'énergie potentielle électrique, on constate qu'elle varie en « $1/r$ » :

$$U_e = \frac{kq_1q_2}{r}$$

Si la distance r double pour les mêmes deux charges, l'énergie diminuera d'un facteur 2 :

$$U_e' = \frac{kq_1q_2}{2r} = \frac{1}{2}\times\left(\frac{kq_1q_2}{r}\right) = \frac{1}{2}U_e$$

d) $V' = \frac{1}{2}V$

À partir de l'équation du potentiel électrique, on constate que le potentiel varie en « $1/r$ » :

$$V = \frac{kq}{r}$$

Si la distance r double pour une même charge, le potentiel diminuera d'un facteur 2 :

$$V' = \frac{kq}{2r} = \frac{1}{2}\times\left(\frac{kq}{r}\right) = \frac{1}{2}V$$

retour à la question ▲

5.9 Solution : La paire retour à la question ▲

a) V = 360 V

Le point étudié est à 2,5 cm de chacune des deux charges.
Le potentiel à ce point est :

$$V = \sum\frac{kq}{r} = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} = k\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right)$$

$$V = \left(8{,}988\times10^9\ \tfrac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right)\times\left(\frac{2}{2{,}5} + \frac{-1}{2{,}5}\right)\times\frac{10^{-9}\ \mathrm{C}}{0{,}01\ \mathrm{m}} = +\,\mathbf{360\ V}$$

b) V = –4,15 kV

Un point à x = 5,2 cm se trouve à une distance r_1 = 5,2 cm de la charge q_1 et r_2 = 0,2 cm de q_2 :

retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

$$V = \left(8{,}988\times 10^{9}\,\tfrac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right)\times\left(\frac{2}{5{,}2}+\frac{-1}{0{,}2}\right)\times\frac{10^{-9}\ \mathrm{C}}{0{,}01\ \mathrm{m}} \quad = \quad \mathbf{-\,4{,}15\ kV}$$

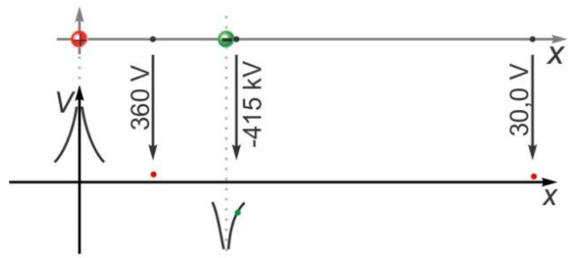
Le potentiel est beaucoup plus élevé (en valeur absolue) pour un point très rapproché d'une charge. Il tend vers l'infini en atteignant son emplacement (infini négatif pour une charge négative).

c) V = 30,0 V

Un point à x = 15 cm se trouve à une distance r_1 = 15 cm de la charge q_1 et r_2 = 10 cm de q_2 :

$$V = \left(8{,}988\times 10^{9}\,\tfrac{\mathrm{N\cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}\right)\times\left(\frac{2}{15}+\frac{-1}{10}\right)\times\frac{10^{-9}\ \mathrm{C}}{0{,}01\ \mathrm{m}} \quad = \quad \mathbf{30{,}0\ V}$$

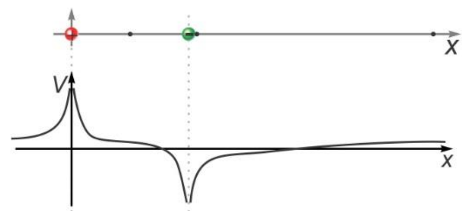
d) 2 endroits



Plaçons sur un graphique les valeurs connues du potentiel pour les positions traitées en a), b) et c). On sait que le potentiel est de +360 V à mi-chemin entre les charges (réponse trouvée en a)), qu'il est de –415 kV tout juste à droite de q_2 et qu'il est de +30,0 V à x = 15 cm.

Si on tient compte du fait qu'à l'emplacement d'une charge, le potentiel tend vers l'infini (positif ou négatif, selon la charge), on obtient le début du traçage de la courbe de potentiel en fonction de la position (figure ci-contre).

Les endroits où le potentiel est nul sont les endroits où la courbe croise l'axe horizontal du graphique. Il y a nécessairement un croisement d'axe quelque part entre les deux charges, et aussi nécessairement un entre la charge négative et le point à 15 cm. Complétons le traçage du graphique du potentiel (figure ci-contre).



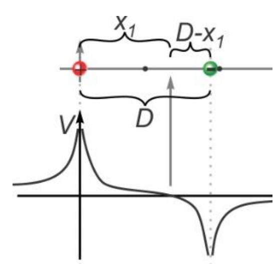
Les deux points déjà identifiés sont les deux seuls points, car à gauche de l'origine, la charge positive plus grande et plus rapprochée aura toujours un effet plus grand que l'autre pour entraîner un potentiel positif. À droite des deux charges, le potentiel redevient positif en s'éloignant car à partir d'un certain point, la charge positive légèrement plus éloignée est suffisamment plus grande pour dominer sur l'effet de la charge négative. Il y a donc deux endroits où le potentiel est nul, hormis l'infini de chaque côté.

e) x_1 = 3,33 cm et x_2 = 10,0 cm

Les points de potentiel nul sont les endroits où les potentiels des deux charges sont de mêmes grandeurs et de signes contraires. Pour trouver ces endroits, on doit exprimer les deux distances de l'équation du potentiel (r_1 et r_2) en fonction de la même inconnue. On a déjà déterminé en d) dans quels secteurs on trouverait un point de potentiel nul.

Trouvons d'abord le point entre les deux charges :

Définissons une variable inconnue permettant de définir les deux distances; l'inconnue peut être directement la position x recherchée (posons x_1), et les deux distances seront alors $r_1 = x_1$ et $r_2 = D - x_1$, où D est la distance de 5 cm entre les deux charges (voir figure suivante). L'équation du potentiel nul est alors :



$$V = \frac{\cancel{k}q_1}{r_1}+\frac{\cancel{k}q_2}{r_2}=0$$

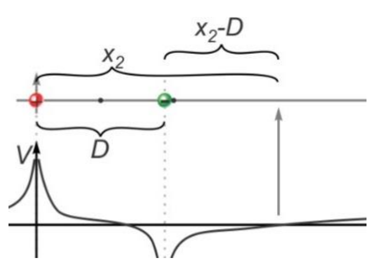
$$\frac{q_1}{x_1}+\frac{q_2}{D-x_1}=0$$

$$q_1(D-x_1)+q_2x_1=0$$

$$x_1 = \frac{q_1}{q_1-q_2}D \quad = \quad \frac{2\,nC}{2\,nC-(-1\,nC)}D \quad = \quad \frac{2}{3}D \quad = \quad \frac{2}{3}\times 5\ \mathrm{cm} \quad = \quad \mathbf{3{,}\overline{33}\ cm}$$

Il s'agit du premier point recherché.

Pour le second point, x_2, situé au-delà de la charge q_2, on peut définir les deux distances impliquées par $r_1 = x_2$ et $r_2 = x_2 – D$ (voir figure ci-contre). L'équation du potentiel nul est alors :



$$V = \frac{\cancel{k}q_1}{r_1}+\frac{\cancel{k}q_2}{r_2}=0$$

$$\frac{q_1}{x_2}+\frac{q_2}{x_2-D}=0$$

$$q_1(x_2-D)+q_2x_2=0$$

$$x_2 = \frac{q_1}{q_1+q_2}D \quad = \quad \frac{2\ \mathrm{nC}}{2\ \mathrm{nC}+(-1\ \mathrm{nC})}D \quad = \quad 2D \quad = \quad 2\times 5\ \mathrm{cm} \quad = \quad \mathbf{10{,}0\ cm}$$

Les deux positions où le potentiel est nul sont donc x_1 = 3,33 cm et x_2 = 10,0 cm.

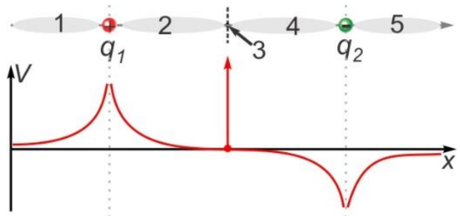
retour à la question ▲

retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

5.10 Solution : La zone retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) La position #3

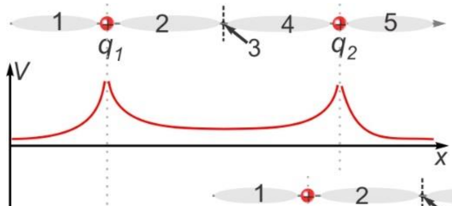


Si les deux charges sont de même grandeur et de signes contraires, c'est nécessairement à mi-chemin entre elles que leurs deux valeurs de potentiel généré seront de mêmes grandeurs et de signes contraires, et ainsi s'annuleront parfaitement. Selon l'équation du potentiel total :

$$V = \frac{kq}{r_1} + \frac{k(-q)}{r_2} = 0$$

Les distances doivent être identiques pour que les potentiels s'annulent. Le centre des deux charges est dont la position #3

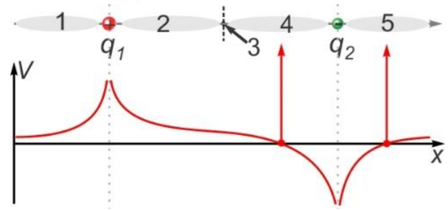
b) Aucun emplacement autre que l'infini



Si les deux charges sont positives et de même grandeur, elles génèrent partout autour d'elles un potentiel positif. Leurs deux contributions s'additionnant, le potentiel sera positif partout dans leur environnement (sauf à l'infini). Il n'y aura donc aucun emplacement de potentiel nul.

retour à la question ▲

c) Zones #4 et #5

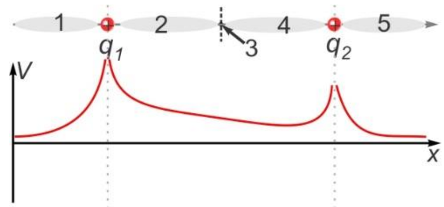


Les potentiels générés par les deux charges étant de signes contraires, il y a un point entre les deux charges où le potentiel est nul, et ce point sera plus près de la charge q_2 car celle-ci étant plus faible, il faut en être plus rapproché pour que les effets ressentis soient les mêmes.

Aussi, en s'éloignant à droite de la charge q_2, il y a également un endroit où le potentiel est nul, là où la charge q_1 plus grande et plus éloignée a un effet de même grandeur que la charge q_2, plus faible mais plus rapprochée.

C'est donc dans les zones #4 et #5 que se trouvent les deux endroits où le potentiel est nul.

d) Aucun emplacement autre que l'infini



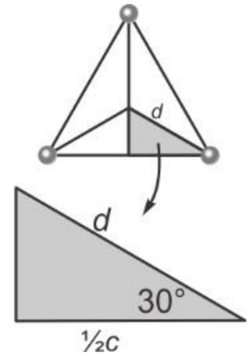
Même si les deux charges positives ne sont pas de même grandeur, elles génèrent partout autour d'elles un potentiel positif. Leurs deux contributions s'additionnent et le potentiel est nécessairement positif partout dans leur environnement (sauf à l'infini). Il n'y aura donc aucun emplacement de potentiel nul. La figure ci-contre illustre le potentiel positif partout autour des charges.

retour à la question ▲

5.11 Solution : Le triangle retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) $V = -778$ V



Le potentiel n'étant pas une grandeur vectorielle, il n'est pas nécessaire de savoir quelle charge est à quel endroit dans le triangle. La seule chose qui importe quant à l'emplacement des charges est la distance qui sépare chacune du point étudié. Et comme le triangle est équilatéral, les trois charges impliquent des distances identiques (distance au centre). Pour déterminer cette distance on doit faire un peu de géométrie.

La distance d sur la figure ci-contre est la distance recherchée entre le centre du triangle et chacun de ses sommets (où se trouve une charge), à partir des propriétés d'un triangle équilatéral et de la longueur connue de ses côtés :

$$\cos\theta = \frac{\left(\frac{c}{2}\right)}{d} \quad \rightarrow \quad d = \frac{c}{2\cos\theta} = \frac{10\text{ cm}}{2\cos 30°} = 5{,}77\text{ cm}$$

Chacune des trois charges, peu importe sur quel sommet du triangle elle se trouve, est à 5,77 cm du point où on cherche la valeur du potentiel. L'équation du potentiel est alors :

$$V = \sum\frac{kq}{r} = \frac{kq_1}{r} + \frac{kq_2}{r} + \frac{kq_3}{r} = \frac{k}{d}(q_1 + q_2 + q_3)$$

retour à la question ▲

Aussi, on doit connaître numériquement la valeur de chacune des trois charges :

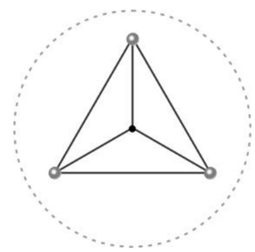
$$q_3 = -2q_2 = -6\text{ nC} \quad \rightarrow \quad q_2 = \frac{-6\text{ nC}}{-2} = 3\text{ nC}$$

$$q_3 = 3q_1 = -6\text{ nC} \quad \rightarrow \quad q_1 = \frac{-6\text{ nC}}{3} = -2\text{ nC}$$

Le potentiel est donc :

$$V = \frac{k}{d}(q_1 + q_2 + q_3) = \frac{\left(8{,}988\times10^9\,\frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)}{(5{,}77\times10^{-2}\text{ m})} \times [(-2 + 3 - 6)\times 10^{-9}\text{ C}] = \mathbf{-778\text{ V}}$$

b) Une infinité d'emplacements.



Une charge positive peut effectivement ajouter une contribution positive au potentiel du centre du triangle, déjà négatif. Il s'agit simplement de placer cette nouvelle charge à la bonne distance, de manière à ce qu'elle produise un potentiel de +778 V, ce qui annulera le potentiel au centre. À titre informatif, cette distance est :

$$V = \frac{kq}{r} \quad \rightarrow \quad r = \frac{kq}{V} = \frac{\left(8{,}988\times10^9\,\frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\times(6\times10^{-9}\text{ C})}{778\text{ V}} = 6{,}92\text{ cm}$$

retour à la question ▲

Mais la distance n'a pas d'importance : puisque le potentiel n'est pas une grandeur vectorielle, tous les points à cette distance autour du centre du triangle sont des endroits où on pourrait y placer la charge de 6 nC pour quelle annule le potentiel au centre. Il y a donc une infinité d'emplacements possibles, tous les points le long d'un cercle de 6,93 cm de rayon.

c) $U_e = -4{,}86\times10^{12}$ eV

On peut obtenir l'énergie potentielle d'une charge à partir simplement du potentiel à l'endroit où elle se trouve :

$$U_e = qV = (1\times10^{-9}\text{ C}) \times -778\text{ V} = \mathbf{-7{,}78\times10^{-7}\text{ J}}$$

En électronvolts :

$$U_e = (-7{,}78\times10^{-7}\text{ J}) \times \frac{1\text{ eV}}{(1{,}602\times10^{-19}\text{ J})} = \mathbf{-4{,}86\times10^{12}\text{ eV}}$$

retour à la question ▲

Équations Sect 5.1, #1 à 4 Sect 5.2, #5 à 11 Sect 5.3, #12 à 22 Sect 5.4, #23 à 26

5.3 LA DIFFÉRENCE DE POTENTIEL DANS UN CHAMP ÉLECTRIQUE UNIFORME

5.12 Solution : Le champ horizontal retour à la question ▲

retour à la question ▲

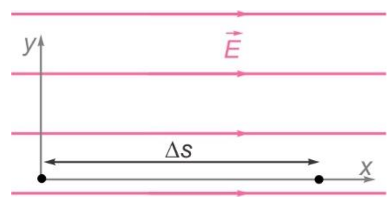
L'équation qui relie distance et différence de potentiel est :

$$\Delta V = -\vec{E} \bullet \overrightarrow{\Delta s} \quad = \quad -E \cdot \Delta s \cdot \cos\theta$$

Cependant, si on connaît la composante de distance parallèle au champ, le traitement est plus court, à partir de l'équation :

$$\Delta V = \pm E \cdot \Delta s_{||}$$

a) $\Delta V = -250$ V

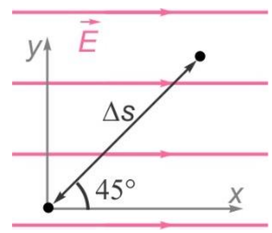


La distance entre les deux points impliqués est horizontale, donc déjà parallèle au champ. Aussi, le déplacement se faisant dans la direction du champ, on sait qu'on observera **une baisse du potentiel**. La différence de potentiel est donc :

$$\Delta V = -E \cdot \Delta s_{||} \quad = \quad -50\,\tfrac{\text{V}}{\text{m}} \times 5\text{ m} \quad = \quad -250\text{ V}$$

La grandeur de la d.d.p. est donc de **–250 V**.

b) $\Delta V = -100$ V



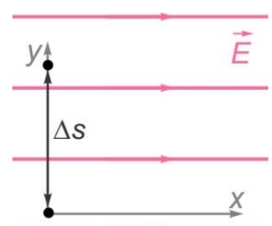
Puisqu'on connaît les coordonnées cartésiennes des deux points concernés et que le champ est horizontal, la simple différence de positions selon x correspond à la distance $\Delta s_{//}$ dont on a besoin, avec $\Delta s_{//} = 2$ m. Aussi, le déplacement $\Delta s_{//}$ se faisant dans la direction du champ, on sait qu'on observera **une baisse du potentiel**.

$$\Delta V = -E \cdot \Delta s_{||} \quad = \quad -50\,\tfrac{\text{V}}{\text{m}} \times 2\text{ m} \quad = \quad -100\text{ V}$$

La d.d.p. est donc de **–100 V**.

retour à la question ▲

c) $\Delta V = 0$ V



Le point étudié est à une distance de l'origine perpendiculaire au champ. La composante $\Delta s_{//}$ de la distance est donc nulle :

$$\Delta V = \pm E \cdot \Delta s_{||} \quad = \quad 50\,\tfrac{\text{V}}{\text{m}} \times 0 \quad = \quad \mathbf{0\ V}$$

La d.d.p. est effectivement nulle entre deux points dont la distance les séparant est parfaitement perpendiculaire au champ.

d) $\Delta V = +2{,}00$ V

À partir des coordonnées cartésiennes du point $(-4\vec{\imath} - 3\vec{\jmath})$ cm, on sait que la composante de distance parallèle au champ de la distance concernée est $\Delta s_{//} = 4$ cm. Aussi, le déplacement $\Delta s_{//}$ se fait dans la direction opposée au champ, alors on sait qu'on observera **une hausse du potentiel** :

$$\Delta V = +E \cdot \Delta s_{||} \quad = \quad +50\,\tfrac{\text{V}}{\text{m}} \times 4\text{ cm} \quad = \quad +2{,}00\text{ V}$$

La grandeur de la d.d.p. est donc de **+2,00 V**.

retour à la question ▲

5.13 Solution : L'angle retour à la question ▲

▲ retour à la question

ΔV = –9,03 mV

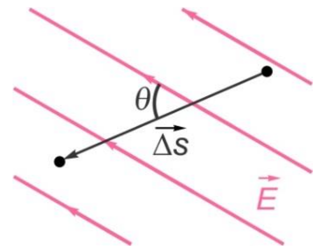
On nous donne les vecteurs du champ magnétique et de la distance parcourue par la particule. La différence de potentiel recherchée peut être donnée par le produit scalaire de ces deux vecteurs selon l'équation suivante :

$$\Delta V = -\vec{E} \bullet \overrightarrow{\Delta s}$$

Cependant, les deux vecteurs ne sont pas donnés dans le même format. L'un d'eux devra être converti dans le format de l'autre pour effectuer le produit scalaire. Si on veut exprimer le vecteur champ électrique par son module et son orientation :

$$E = \sqrt{\left(-0{,}550\,\tfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right)^2 + \left(0{,}300\,\tfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\right)^2} \quad = \quad 0{,}626\,\tfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$$

$$\theta_E = \arctan\left(\frac{0{,}300\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}}{-0{,}550\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}}\right) \quad = \quad -28{,}6°$$



Cette orientation (–28,6°) se situe dans le 4^{e} cadran alors que les composantes du déplacement désignent plutôt une orientation dans le 2^{e} cadran. On doit donc appliquer une correction de 180° à l'orientation trouvée :

$$\theta_E = -28{,}6° + 180° \quad = \quad 151°$$

On a alors besoin de l'angle entre les vecteurs champ et déplacement pour le calcul du produit scalaire :

$$\theta_{E\cdot\Delta s} = 220° - 151° \quad = \quad 68{,}6°$$

La différente de potentiel est donc :

$$\Delta V = -\vec{E} \bullet \overrightarrow{\Delta s} \quad = \quad -E \cdot \Delta s \cdot \theta_{E\cdot\Delta s} = \quad -0{,}626\,\tfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}} \times 0{,}0395\ \mathrm{m} \times \cos 68{,}6° \quad = \quad \mathbf{-9{,}03\ mV}$$

retour à la question ▲

▲ retour à la question

5.14 Solution : La PPIUC retour à la question ▲

retour à la question ▲

a) E = 98,8 V/m

On doit utiliser l'équation du champ généré par une PPIUC (chapitre 4) :

$$E = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0} = \frac{\left(1{,}75\times10^{-9}\ \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}\right)}{2\times\left(8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{N\cdot m}^2}\right)} = \mathbf{98,8\ \frac{V}{m}}$$

b) ΔV = −24,7 V

Le champ électrique étant uniforme, la différence de potentiel entre deux points est donnée par :

$$\Delta V = -\vec{E}\bullet\overrightarrow{\Delta s} = -E\Delta s\cos\theta$$

Le champ fuit la plaque positive, et le proton fuit également la plaque après s'en être détaché (perpendiculairement s'il part du repos). Champ et déplacement sont donc parallèles et l'angle qu'ils forment entre eux est de 0° :

$$\Delta V = -98{,}8\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}\times 0{,}25\ \mathrm{m}\times\cos 0° = \mathbf{-24,7\ V}$$

c) ΔK = 24,7 eV

La variation d'énergie cinétique d'une charge se déplaçant dans un champ électrique est :

$$\Delta K = -q\Delta V$$

À partir des valeurs connues :

$$\Delta K = -(1{,}602\times10^{-19}\ C)\times(-24{,}7\ V) = 3{,}96\times10^{-18}\ J$$

retour à la question ▲

En électronvolts :

$$\Delta K = (3{,}96\times10^{-18}\ \mathrm{J})\times\frac{1\ \mathrm{eV}}{(1{,}602\times10^{-19}\ \mathrm{J})} = \mathbf{24,7\ eV}$$

d) v = 6,88×10⁴ m/s

Puisque le proton se « détache » de la plaque, sa vitesse initiale est nulle, et son gain d'énergie cinétique se limite à celle qu'il acquiert durant le déplacement de 25 cm :

$$\Delta K = K - \underbrace{K_0}_{0} = K$$

À partir de la définition de l'énergie cinétique, on trouve :

$$\Delta K = K = \tfrac{1}{2}mv^2$$

On doit utiliser l'énergie en joules (calculée en c)) pour calculer la vitesse :

$$v = \sqrt{\frac{2\Delta K}{m_P}} = \sqrt{\frac{2\times(3{,}96\times10^{-18}\ \mathrm{J})}{(1{,}673\times10^{-27}\ \mathrm{kg})}} = \mathbf{6,88\times10^4\ \frac{m}{s}}$$

retour à la question ▲

5.15 Solution : Le travail retour à la question ▲

W_{ext} = −0,186 J

Lors d'un déplacement à vitesse constante, il faut investir de l'énergie pour empêcher l'accélération de la charge ou bien pour forcer son déplacement contre l'effet d'une force. Le fait de communiquer cette énergie à la charge constitue un travail, dont la valeur est donnée par :

$$W_{ext} = q\Delta V$$

Avec les valeurs données, dont une variation de potentiel négative sur le déplacement :

$$W_{ext} = (825\times10^{-6}\ \mathrm{C})\times(-225\ \mathrm{V}) = \mathbf{-0,186\ J}$$

retour à la question ▲

retour à la question ▲

retour à la question ▲

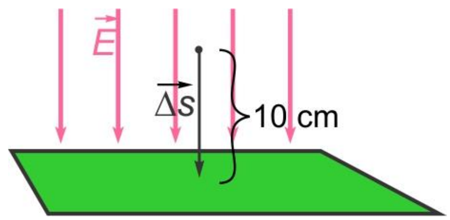
5.16 Solution : La chute retour à la question ▲

v = 4,23×10³ m/s

La particule chargée positivement est attirée par la plaque chargée négativement. La vitesse qu'elle atteindra sur une distance de 10 cm est liée à l'énergie cinétique qu'elle gagne, elle-même définie par la charge et la différence de potentiel rencontrée sur le déplacement.

On aura besoin de la valeur du champ électrique produit par la plaque (très grande, donc équivalente à une PPIUC) :

$$E = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0}$$



Ce champ est dirigé vers la plaque, et le déplacement également. L'angle entre ces deux vecteurs est donc 0°. La variation de potentiel observée par la charge est donc :

$$\Delta V = -\vec{E} \bullet \overrightarrow{\Delta s} \quad = \quad -E\Delta s \cos 0° \quad = \quad -\frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0}\Delta s$$

Cette variation de potentiel apparaît dans l'expression de la variation d'énergie cinétique :

$$\Delta K = -q\Delta V \quad = \quad -q \times \left(-\frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0}\Delta s\right) \quad = \quad \frac{q|\sigma|\Delta s}{2\varepsilon_0}$$

Finalement, le lien avec la vitesse, en tenant compte du fait que la vitesse initiale est nulle (particule lâchée du repos) :

$$\Delta K = K - \underbrace{K_0}_{=0} = K = \tfrac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{q|\sigma|\Delta s}{2\varepsilon_0} = \tfrac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{q|\sigma|\Delta s}{m\varepsilon_0}} \quad = \quad \sqrt{\frac{(55{,}0\times10^{-6}\ \mathrm{C})\times\left|-18{,}0\times10^{-6}\ \frac{\mathrm{C}}{\mathrm{m}^2}\right|\times(0{,}10\ \mathrm{m})}{(625\times10^{-9}\ \mathrm{kg})\times\left(8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\mathrm{C}^2}{\mathrm{N\cdot m}^2}\right)}} \quad = \quad \mathbf{4{,}23\times10^{3}\ \frac{m}{s}}$$

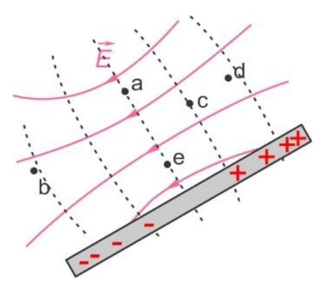
Erreur fréquente : La masse de 625 μg doit être convertie en kilogrammes (l'unité fondamentale de la masse) et non en grammes. C'est pourquoi on doit utiliser le facteur de conversion 10^{-9} et non 10^{-6} (1 μg = **10^{-6} g** = 10^{-9} kg).

retour à la question ▲

5.17 Solution : Non uniforme retour à la question ▲

b < a = e < c < d

L'orientation du champ électrique indique la direction dans laquelle le potentiel diminue. Puisque le champ illustré est orienté principalement vers la gauche et vers le bas, le point le plus loin dans cette direction (le point b) présente le potentiel le plus faible. b est donc le premier de la suite croissante.



Si on remonte parallèlement aux lignes de champ jusqu'à l'autre extrémité de la zone illustrée, on rencontre les points a et e ex aequo, et ensuite les points c et d.

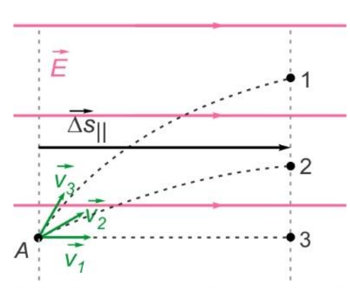
On peut illustrer sur la même figure des lignes de potentiel constant (les courbes « équipotentielle »), en tout point perpendiculaires au champ, qui illustrent la progression du potentiel d'un bout à l'autre du champ illustré. Se les points a et e se trouvent sur une même courbe équipotentielle, ils ont donc la même valeur de potentiel.

5.18 Solution : Trajectoires retour à la question ▲

Aucune n'entraine une vitesse supérieure

Selon les trois trajectoires, la composante parallèle au champ du déplacement est identique, et entraine donc pour la particule la même variation de potentiel.

$$\Delta V = -\vec{E} \bullet \overrightarrow{\Delta s}$$



La même variation de potentiel entraine à son tour le même gain d'énergie cinétique, donc le même gain de vitesse.

$$\Delta K = -q\Delta V$$

En passant à la même vitesse au point A, la particule arriverait à la même vitesse à chacun des points 1, 2 et 3.

retour à la question ▲

5.19 Solution : De l'infini retour à la question ▲

a) V = –3,60 MV

Le potentiel à l'origine est généré par les deux charges environnantes :

$$V = \sum \frac{kq}{r} = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} = k\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right)$$

$$V = \left(8{,}988 \times 10^9\,\tfrac{\mathrm{N{\cdot}m^2}}{\mathrm{C^2}}\right) \times \left(\frac{6}{1} + \frac{-10}{1}\right) \times \frac{10^{-6}\ \mathrm{C}}{0{,}01\ \mathrm{m}} = -3{,}60 \times 10^6\ \mathrm{V} = \mathbf{-3,60\ MV}$$

b) W_{ext} = 3,60 J

Le travail requis pour déplacer une charge q sur une distance où elle subira une différence de potentiel ΔV est :

$$W_{ext} = \Delta U$$

L'énergie potentielle étant donnée par $U = qV$, on trouve :

$$W_{ext} = U - U_0 = qV - qV_0 = q(V - V_0)$$

Le potentiel V à la fin du déplacement (à l'infini) étant nul, le calcul n'utilise que le potentiel à l'origine (trouvé en b)) et se résume à :

$$W_{ext} = -qV_0 = -(10^{-6}\ \mathrm{C}) \times (-3{,}60 \times 10^6\ \mathrm{V}) = \mathbf{3,60\ J}$$

c) $U_E = 0$

Si la charge étudiée est à une distance infinie de toute autre charge, aucune énergie potentielle n'est attribuée à la présence de ces autres charges. En utilisant l'équation de l'énergie potentielle pour la charge à l'infini, on aurait :

$$U_e = \frac{kq_\infty q_1}{\infty} + \frac{kq_\infty q_2}{\infty} = \mathbf{0}$$

d) v = 3,79×10³ m/s

La variation de potentiel subie par la particule sur l'ensemble de son déplacement est liée à son gain d'énergie cinétique par :

$$\Delta K = -q\Delta V$$

$$\tfrac{1}{2}m\left(v_{orig}^2 - \underbrace{v_\infty^2}_{=0}\right) = -q\left(V_{orig} - \underbrace{V_\infty}_{=0}\right)$$

$$\tfrac{1}{2}mv_{orig}^2 = -qV_{orig}$$

$$v_{orig} = \sqrt{-\frac{2qV_{orig}}{m}} = \sqrt{-\frac{2 \times (10^{-6}\ \mathrm{C}) \times (-3{,}60 \times 10^6\ \mathrm{V})}{(0{,}50 \times 10^{-6}\ \mathrm{kg})}} = \mathbf{3,79 \times 10^3\ \tfrac{m}{s}}$$

retour à la question ▲

5.20 Solution : Possible/Impossible retour à la question ▲

De façon générale, on doit utiliser l'équation suivante pour déterminer si le signe de la variation d'énergie cinétique est cohérent avec le signe de la variation de potentiel subie par la particule en mouvement :

$$\Delta K = -q\Delta V \qquad (1)$$

Si on peut ne considérer que les positions initiale et finale du déplacement décrit, on peut établir un lien entre le sens du déplacement par rapport au champ électrique et la variation de l'énergie cinétique, sachant que :

$$\Delta V = -\vec{E}\bullet\overrightarrow{\Delta s} = -E\Delta s\cos\theta$$

Donc :

$$\Delta K = -q(-E\Delta s\cos\theta)$$

$$\Delta K = qE\Delta s \cdot \cos\theta \qquad (2)$$

Selon cette dernière équation, le signe de la charge q et du cosinus de l'angle entre $\vec{E}$ et $\overrightarrow{\Delta s}$ définissent le signe de la variation d'énergie cinétique. On peut se servir de cette équation pour analyser chacun des scénarios.

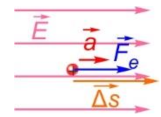
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲
retour à la question ▲

Équations Sect 5.1, #1 à 4 Sect 5.2, #5 à 11 Sect 5.3, #12 à 22 Sect 5.4, #23 à 26

a) Possible

L'accélération signifie une augmentation de vitesse, donc une augmentation de l'énergie cinétique ($\Delta K > 0$).

Les orientations du champ $\vec{E}$ et du déplacement $\overrightarrow{\Delta s}$ impliquent un angle de 0°, donc un cosinus positif. La charge étant positive (un proton), les signes de chaque terme de l'équation (2) vérifient un ΔK positif :



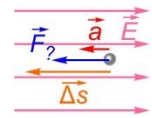
$$\Delta K = qE\Delta s \cdot \cos\theta$$

Le mouvement décrit est donc possible.

retour à la question ▲

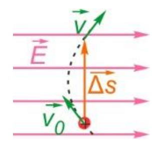
b) Impossible

La particule étant un neutron, aucune charge n'est impliquée. Selon l'équation (1), une charge nulle devrait impliquer une variation nulle de l'énergie cinétique. Pourtant il est indiqué que le neutron accélère. Il doit donc y avoir apport d'énergie par un agent extérieur, via une force autre qu'électrique.



c) Possible

Si les points initial et final du déplacement sont au même potentiel, le déplacement (résultant) est nécessairement perpendiculaire au champ et n'implique pas de variation de potentiel. Le terme de droite est donc nul dans l'équation (1) :



$$\Delta K = -q\underbrace{\Delta V}_{=0}$$

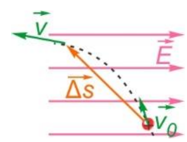
Dans cette même équation, une vitesse identique aux deux points concernés implique aussi une variation nulle de l'énergie cinétique. Ce scénario est donc possible.

retour à la question ▲

d) Impossible

À partir de l'équation (1), si le proton (une charge positive) se déplace vers un point de potentiel plus élevé, le terme de droite devrait être négatif :

$$\Delta K = -\underbrace{q\Delta V}_{>0}$$

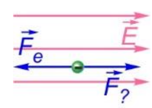


Le scenario serait donc possible si la variation d'énergie cinétique était également négative, donc une vitesse finale plus faible. Comme il est plutôt indiqué que le proton passe plus rapidement au second point, il y a donc incohérence et ce scénario est impossible.

e) Possible

Une particule demeurant immobile ne subit aucune variation de son énergie cinétique ($\Delta K = 0$). Par ailleurs, un déplacement nul implique aussi une variation nulle du potentiel où elle se trouve ($\Delta V = 0$ et $\Delta s = 0$). Peu importe sa charge, les termes sont donc nuls des deux côtés dans l'équation (2) et l'équation est cohérente :

$$\Delta K = qE\Delta s \cdot \cos\theta$$



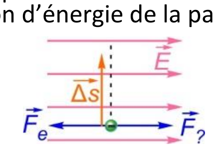
Si une force non électrique est requise pour garder la charge immobile, cette force n'effectue aucun travail s'il n'y a aucun déplacement, ce qui ne fait pas mentir la possibilité de ce scénario.

retour à la question ▲

f) Possible

Le déplacement à vitesse constante de façon perpendiculaire au champ est en accord avec l'équation (2), car $\Delta K = 0$ et $\cos 90° = 0$. Le déplacement peut donc se faire sans apport ou évacuation d'énergie de la particule.

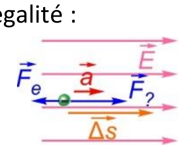
Dans les faits, l'électron étant chargé négativement, il subit nécessairement une force non nulle dans la direction inverse au champ électrique. Une force autre que la force électrique doit donc intervenir pour empêcher une accélération dans la direction opposée à la force électrique. Mais cette force est perpendiculaire au déplacement décrit et n'effectue aucun travail. Il n'y a donc pas d'apport d'énergie impliqué.



g) Impossible

Une accélération implique un gain d'énergie cinétique (donc $\Delta K > 0$). Aussi, un déplacement dans la direction du champ électrique implique un angle de 0° entre les vecteurs $\vec{E}$ et $\overrightarrow{\Delta s}$. Selon l'équation (2), pour une charge négative, le terme de droite est donc négatif, ce qui rend incohérente l'égalité :

$$\underbrace{\Delta K}_{>0} = \underbrace{qE\Delta s \cdot \cos 0°}_{<0}$$



Ce scénario est donc impossible.

retour à la question ▲

5.21 Solution : PPIUC II retour à la question ▲

retour à la question ▲

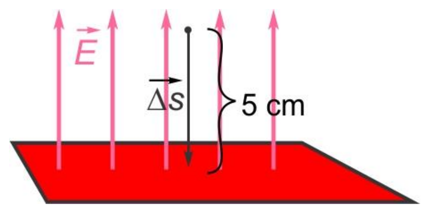
V = 22,0 V

On ignore a priori la valeur du champ électrique et on doit la déterminer à partir de la charge surfacique de la plaque pour connaître le taux de variation du potentiel sur les 5 cm entre la plaque et le point décrit :

$$E = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0}$$

Ce champ fuit la plaque puisque celle-ci est positive.

Le calcul du potentiel à la surface de la plaque demande qu'on évalue la « différence de potentiel » entre cette surface et le point de potentiel connu. Même si aucune particule n'est impliquée, considérons un déplacement $\overrightarrow{\Delta s}$ du point étudié vers la plaque. La variation de potentiel trouvée pourra être ajoutée au potentiel connu pour obtenir celui de la plaque, selon la relation suivante :



$$V_{plaque} = V_{point} + \Delta V$$

Utilisons pour ΔV l'équation suivante :

$$\Delta V = -\vec{E}\bullet\overrightarrow{\Delta s} \quad = \quad -E\Delta s\cos\theta$$

Dans le cas présent, le déplacement est opposé au champ, donc à un angle de 180° :

$$\Delta V = -E\Delta s\cos 180° \quad = \quad E\Delta s$$

D'où :

$$V_{plaque} = V_{point} + E\Delta s$$

Si on insère l'expression du module du champ électrique de la plaque :

$$V_{plaque} = V_{point} + \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0}\Delta s$$

$$V_{plaque} = 2{,}50\ \text{V} + \frac{\left(6{,}90\times10^{-9}\ \frac{\text{C}}{\text{m}^2}\right)}{2\times\left(8{,}854\times10^{-12}\ \frac{\text{C}^2}{\text{N}\cdot\text{m}^2}\right)} \times 0{,}05\ \text{m} \quad = \quad \mathbf{22{,}0\ V}$$

retour à la question ▲

5.22 Solution : Dans le vide retour à la question ▲

retour à la question ▲

v = 8,45 m/s

Les charges contraires des deux objets génèrent une force d'attraction entre eux. Mais cette force n'est pas constante, car la distance affecte le module de la force. On ne peut donc pas procéder par dynamique/cinématique. Plutôt, la vitesse de la bille pourra être trouvée à partir de son gain d'énergie cinétique durant son accélération vers la sphère fixe. Si elle part du repos, le gain d'énergie cinétique sera :

$$\Delta K = K - \underbrace{K_0}_{=0} = K = \tfrac{1}{2}mv^2$$

Le gain d'énergie cinétique est par ailleurs lié à la charge déplacée et à la variation de potentiel impliquée, peu importe sa masse ou tout autre paramètre :

$$\Delta K = -q\Delta V$$

D'une part, la charge du corps déplacé (la bille) s'obtient à partir du nombre d'électrons formant sa charge nette :

$$q = -Ne$$

et la différence de potentiel s'obtient à partir du calcul du potentiel à la surface de la sphère (de rayon R) et à une distance donnée (posons d) de la même sphère (de charge Q). À la surface de la sphère :

$$V_{surface} = \frac{kQ}{R}$$

À une distance d au-delà de la surface de la sphère, la distance impliquée pour le calcul du potentiel doit être exprimée à partir du centre de la sphère, donc :

$$V_d = \frac{kQ}{R+d}$$

retour à la question ▲

La variation de potentiel observée par la bille en se rapprochant de la sphère sera donc :

$$\Delta V = V_f - V_i \quad = \quad V_{surface} - V_d$$

Si on réunit toutes les équations mentionnées :

$$\Delta K = -q \times \Delta V$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = -(-Ne) \times \left(V_{surface} - V_d\right)$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = -(-Ne) \times \left(\frac{kQ}{R} - \frac{kQ}{R+d}\right) \quad = \quad Ne \cdot kQ\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+d}\right)$$

$$v = \sqrt{\frac{2NekQ}{m}\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R+d}\right)}$$

$$v = \sqrt{\frac{2\times(3{,}15\times10^{12})\times(1{,}602\times10^{-19}\ \text{C})\times\left(8{,}988\times10^{9}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\times(850\times10^{-9}\ \text{C})}{(900\times10^{-6}\ \text{kg})} \times \left(\frac{1}{0{,}10\ \text{m}} - \frac{1}{0{,}10\ \text{m}+0{,}50\ \text{m}}\right)} \quad = \quad 8{,}45\ \tfrac{\text{m}}{\text{s}}$$

retour à la question ▲

5.4 LE POTENTIEL ÉLECTRIQUE ET CONDUCTEURS

5.23 Solution : La sphère retour à la question ▲

a) V = –100 V

Le potentiel dans un conducteur à l'équilibre électrostatique est le même en tout point, jusqu'à sa surface. Cela implique qu'il est le même au centre qu'en surface. Le potentiel est donc de –100 V au centre de la sphère.

b) V = –100 V

Peu importe l'emplacement étudié à l'intérieur de la sphère conductrice, le potentiel sera toujours de –100 V, d'une surface à l'autre.

retour à la question ▲

5.24 Solution : Le ballon

retour à la question ▲

$\sigma_2 = -7{,}11 \times 10^{-8}$ C/cm²

Pour un corps conducteur au potentiel uniforme (équilibre électrostatique), le rapport des charges surfaciques de différentes portions courbes de la surface est l'inverse du rapport des rayons de courbure :

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Si on désigne par σ_1 la charge surfacique au sommet du ballon et par σ_2 la charge surfacique en dessous, on cherche σ_2 :

$$\sigma_2 = \frac{R_1 \sigma_1}{R_2} \quad = \quad \frac{15\ \text{cm} \times \left(-45 \times 10^{-9}\ \frac{\text{C}}{\text{cm}^2}\right)}{9{,}5\ \text{cm}} \quad = \quad \mathbf{-7{,}11 \times 10^{-8}\ \frac{C}{cm^2}}$$

retour à la question ▲

5.25 Solution : Double rayon

retour à la question ▲

$q_1 = -271$ µC

Pour les deux surfaces sphériques reliées par un conducteur, les potentiels sont les mêmes. Le rapport des charges surfaciques est donc inverse à celui des rayons :

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Les rayons connus permettent d'exprimer les charges surfaciques en fonction des charge et surface de chaque sphère :

$$\sigma = \frac{q}{A} \quad = \quad \frac{q}{4\pi R^2}$$

En désignant par R_1 le rayon de la plus petite sphère :

$$\frac{\left(\frac{q_1}{4\pi R_1^2}\right)}{\left(\frac{q_2}{4\pi R_2^2}\right)} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{R_1}{R_2} \qquad (1)$$

Les deux charges sont inconnues, et on cherche celle de la plus grande sphère, donc q_2. Mais si on ignore la valeur de chaque charge, on sait que la charge totale est de $q_{tot} = -950$ µC, ce qui permet d'établir une seconde équation :

$$q_1 + q_2 = q_{tot} \qquad (2)$$

Si on cherche q_1, isolons q_2 dans cette dernière équation pour la substituer dans l'équation (1) :

$$q_2 = q_{tot} - q_1$$

On substitue q_2 dans l'équation (1) :

$$\frac{q_1}{q_{tot} - q_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

En quelques étapes d'algèbres, on trouve :

$$q_1 = \frac{q_{tot} R_1}{R_1 + R_2} \quad = \quad \frac{(-950 \times 10^{-6}\ \text{C}) \times 10\ \text{cm}}{10\ \text{cm} + 25\ \text{cm}} - \quad = \quad \mathbf{-271 \times 10^{-6}\ C}$$

retour à la question ▲

▲ retour à la question
▲ retour à la question

5.26 Solution : La bille retour à la question ▲

▲ retour à la question

V = 2,70 kV

Cette coquille et la charge qu'elle abrite au centre est celle de l'exercice « La bille » de la section 4.5. On a alors trouvé qu'après répartition des charges dans la coquille en raison de la charge centrale, la surface extérieure porterait elle aussi une charge de +60 nC.

Pour tout l'environnement extérieur à la coquille, les effets seront les mêmes que s'il s'agissait d'une sphère plein portant la même charge : le champ produit autour de la coquille ne dépend que de la charge en surface, peu importe la composition interne qui induit cette charge en surface.

Le potentiel en surface de la coquille sera donc donné par :

$$V = \frac{kq}{R}$$

Puisqu'on donne le diamètre de la coquille :

$$V = \frac{kq}{\left(\frac{d}{2}\right)} = \frac{2kq}{d} = \frac{2\times\left(8{,}988\times10^{9}\ \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\times\left(60\times10^{-9}\ \text{C}\right)}{0{,}40\ \text{m}} = \mathbf{2{,}70\ kV}$$

retour à la question ▲