

Matière :
Physique Chimie

Niveau :
1 Bac S.M

Energie potentielle d'une charge électrique dans un champ électrique uniforme



I) Travail d'une force électrostatique un champ électrique uniforme:

Le travail \vec{F} de la force qui a fait déplacer la boule sous l'action du champ électrique uniforme \vec{E}

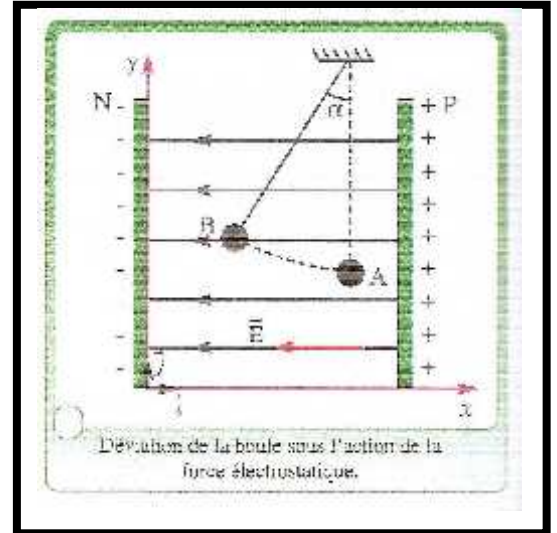
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = q \times \vec{E} \cdot \vec{AB}$$

Avec :

$$\vec{E} = -E \cdot \vec{i} \text{ et } \vec{AB} = (x_B - x_A) \cdot \vec{i} + (y_B - y_A) \cdot \vec{j}$$

Donc :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times E \times (x_A - x_B)$$



Conclusion :

Le travail de la force électrique appliquée à une charge dans un champ électrique uniforme est indépendant du chemin suivi ; il ne dépend que de l'état initial x_A et de l'état final x_B . on dit que *la force électrique est conservative*.

II) Potentiel électrique.

1) Définition d'une différence de potentiel électrique

La différence de potentielle (ou tension) entre 2 points A et B d'une région où règne un champ électrique uniforme est égale au produit scalaire des vecteurs \vec{E} et \vec{AB} .

$$U_{AB} = V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \times AB \times \cos(\angle)$$

\vec{E} : vecteur champ électrique ($V.m^{-1}$); \vec{AB} : vecteur déplacement (m)
 U_{AB} : la tension (V) ; V_A : Potentiel en A (V) ; V_B : Potentiel en B (V)

Remarque :

Le champ \vec{E} est perpendiculaire aux surfaces équipotielles et dirigé dans le sens de la décroissance de V « c-a-d vers les potentiels décroissants ».

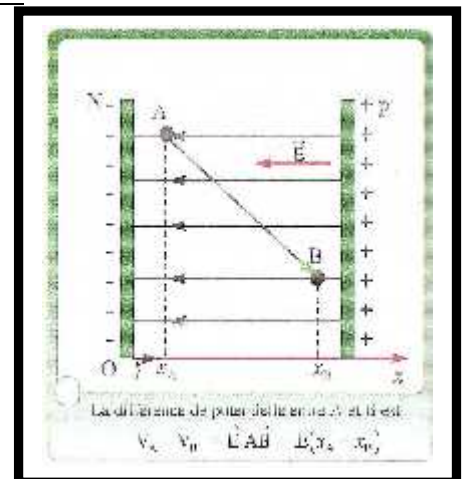
2) Potentiel électrique:

2-1/ Définition :

$$V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB} = E \times (x_A - x_B) \text{ donc } V_A - V_B = E \times x_A - E \times x_B$$

$$V_A = E \times x_A \text{ et } V_B = E \times x_B \text{ d'où : } V = E \times x$$

Nouvelle unité pour le champ électrique \vec{E} : volt/mètre.



$$V = E \times x$$

(V) (V.m⁻¹) (m)

Le potentiel crée par une charge ponctuelle q , placé dans le vide, en un point M de l'espace situé à la distance r de la charge q est donné par :

$$V(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} \quad \text{avec } V(M) = 0 \text{ quand } r \rightarrow \infty$$

Conséquence :

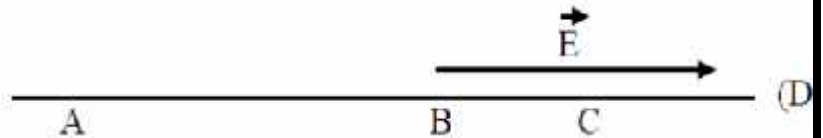
$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times \vec{E} \cdot \vec{AB} = q \times [E \times (x_A - x_B)] = q \times [E \times x_A - E \times x_B]$$

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times [V_A - V_B] = q \times U_{AB}$$

Cette relation reste valable même si le champ électrique n'est pas uniforme.

Exercice d'application N°1 :

Trois points A, B et C situés dans cet ordre sur une droite (D), sont placés dans un champ électrostatique uniforme E , parallèle à la droite D et orienté comme le montre la figure.
On donne $AB = 30\text{cm}$; $BC = 10\text{cm}$; intensité du champ $E = 1500\text{V/m}$.
Calculer les tensions U_{AB} ; U_{BC} ; U_{CA} .



2-2/ Potentiel électrique créé par une distribution de charges ponctuelles

le potentiel électrostatique en un point M de l'espace créé par ensemble de charges ponctuelles. En utilisant le principe de superposition, le potentiel électrique en M est la somme du potentiel électrostatique créé par chaque charge :

$$V(M) = \sum V_i(M) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \sum \frac{q_i}{r_i}$$

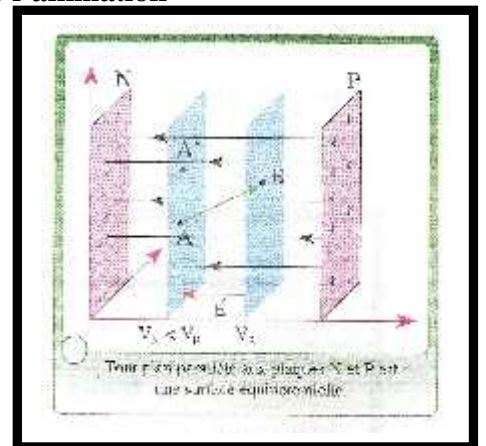
2-3/ Plan (ou surface) équipotentiel:

voir l'animation

Une surface (ou plan) équipotentielle électrique est une surface où la valeur du potentiel électrique est la même en tout point.

Les équipotentielles électriques possèdent les caractéristiques suivantes :

- ✓ Le potentiel électrique est égal en tout point de la surface.
- ✓ Le champ électrique est perpendiculaire à la surface équipotentielle.
- ✓ Le sens du champ électrique définit le sens où il y a une chute de potentiel.



Exercice d'application N°2 :

Une charge $q = 10^{-6} \text{ C}$ se déplace en ligne droite, de A vers B, dans un champ électrostatique uniforme E , d'intensité $E = 500 \text{ V/m}$, tel que $(AB, E) = 30^\circ$. Calculer :

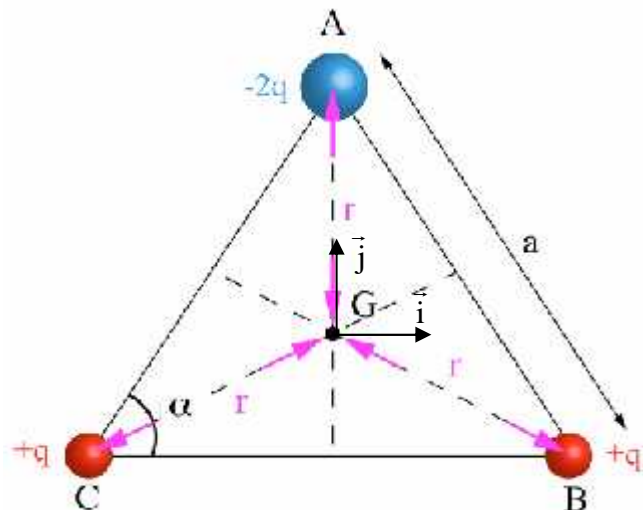
- 1) le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur la charge q au cours du déplacement AB.
- 2) La valeur de la tension U_{AB} .

Donnée : Distance AB = 10 cm.

Exercice d'application N°3 :

Soit un ensemble de 3 charges électriques ponctuelles $-2q, +q, +q$ disposées aux sommets A, B et C d'un triangle équilatéral de côté a , dans l'air.

1. Calculer le potentiel V et déterminer le champ \vec{E} créés par cette distribution de charges au centre de gravité G du triangle ($q > 0$). On appellera \vec{j} le vecteur unitaire dirigé de G vers A d'origine G et \vec{i} le vecteur unitaire tel que (G, \vec{i}, \vec{j}) forme une base orthonormée.



Les propositions :

Potentiel: A : 0 B : $\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{2q}{3a^2}$ C : $-\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{2q}{3a^2}$ D : $\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{q}{\sqrt{3}a}$ E : $-\frac{1}{\pi \epsilon} \frac{q}{\sqrt{3}a}$

Champ: A : 0 B : $\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{i}$ C : $-\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{j}$ D : $\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{j}$ E : $\frac{1}{4\pi \epsilon} \frac{9q^2}{a^2} \vec{i}$

III) Energie potentielle électrostatique :

1) Notion de l'énergie potentielle électrostatique :

Energie potentielle électrique d'une charge q quelconque située en un point d'abscisse x dans un champ électrique uniforme \vec{E} vaut :

$$E_{pe}(M) = q \times E \times x(M) + C$$

ou

$$E_{pe}(M) = q \times V(M) + C'$$

Avec C et C' sont des constantes qui dépendent du niveau de référence choisi.

2) La variation de l'énergie potentielle:

La variation de l'énergie potentielle électrique, entre le point A de potentiel $V(A)$ et le point B de potentiel $V(B)$, égale :

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = E_{pe}(B) - E_{pe}(A) = q \times V(B) - q \times V(A)$$

3) Relation entre l'énergie potentielle et le travail d'une force électrostatique :

On a : $\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = q \times [V(B) - V(A)]$ et $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = q \times [V_A - V_B]$

Donc :

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

Généralité:

La variation d'énergie potentielle électrique d'un système se déplaçant d'un point A à un point B est égale à l'opposé de la somme des travaux effectués par les forces conservatives entre le point A et le point B.

$$\Delta_{A \rightarrow B} E_{pe} = - \sum_{A \rightarrow B} W(\vec{F}_c)$$

IV) Conservation de l'énergie totale d'une charge placée dans un champ électrostatique uniforme :

- L'énergie mécanique totale d'une charge q placée dans un champ électrique est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle électrique :

$$E_m(M) = E_c(M) + E_{pe}(M)$$

- Si une charge évolue spontanément dans un champ électrique (sans autre force que celle du champ électrique), on peut déterminer sa vitesse acquise au bout d'un certain déplacement :

✓ Soit à l'aide du théorème de énergie mécanique:

$$\Delta E_m = 0$$

✓ Soit à l'aide du théorème de énergie cinétique :

$$E_c = -q \times \Delta V = -q \times (V_B - V_A)$$

✓) L'électro-Volt :

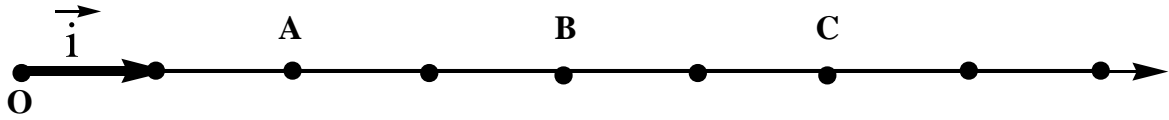
Si $q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ et si le potentiel $V = 1 \text{ V}$ alors $E_{pe} = 1 \text{ eV}$ « *electron volt* » ;

$$1 \text{ eV} = 1e \times 1V = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \times 1V = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Exercice d'application N°4 :

On considère trois points A, B et C situés sur l'axe (OX) dans un champ électrostatique $\vec{E} = 2.10^4 \cdot \vec{i}$ avec $\|\vec{i}\| = 10 \text{ cm}$. On donne : $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$.



- 1) Calculer les tensions U_{BA} ; U_{BC} et U_{CA} .
- 2) Déterminer la distance entre 2 plans équipotentiels qui ont une différence de potentiel $U_1 = 5.10^3 \text{ V}$ et $U_2 = 15.10^3 \text{ V}$.
- 3) Calculer en joule puis en électro-volt la variation de l'énergie potentielle électrostatique d'une charge $q = 3e$ lors de son déplacement du plan équipotentiel A au plan B.

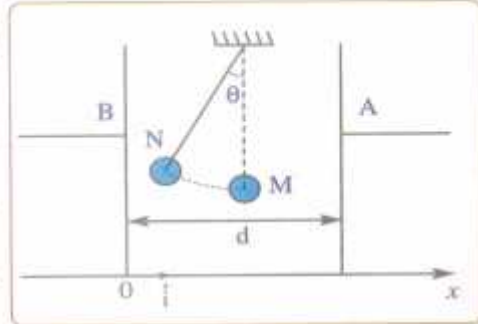
Exercice d'application N°5 :

Un pendule électrostatique, de longueur $l = 20 \text{ cm}$ et de charge $q = 20 \text{ nC}$, est en équilibre entre deux plateaux verticaux et parallèles A et B.

La distance entre ces deux plateaux est $d = 10 \text{ cm}$. Le champ électrostatique uniforme existant est d'intensité $E = 5.10^3 \text{ V.m}^{-1}$.

En l'absence du champ électrostatique, le pendule se trouve en équilibre au point M situé au milieu de la distance d.

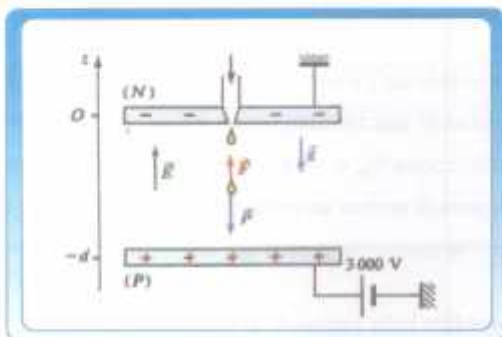
En appliquant la tension U_{AB} entre les plateaux, le pendule s'écarte de la verticale d'un angle $\theta = 45^\circ$.



- 1- Donner les caractéristiques du champ électrostatique \vec{E} . Calculer la tension U_{AB} .
- 2- Déterminer l'expression du travail de la force électrostatique agissant sur le pendule quand il se déplace de M vers N en fonction de q , E , l et θ . Calculer sa valeur.
- 3- En déduire la variation de l'énergie électrostatique ΔE_{pe} entre les deux positions M et N.
- 4- On choisit comme origine des énergies potentielles électrostatiques $E_{pe} = 0$ au plan du plateau B. Calculer $E_{pe}(M)$ l'énergie potentielle électrostatique au point M. En déduire V_M le potentiel électrique au point M.

Exercice d'application N°6 :

On applique une tension $U_{PN} = 3000 \text{ V}$ entre deux plaques métalliques parallèles horizontales séparées par une distance $d = 5 \text{ cm}$.



On lâche une goutte d'huile de masse $m = 2,8.10^{-14} \text{ kg}$ et de charge $q = 10e$ sans vitesse initiale à partir de la plaque N, elle arrive à la plaque P avec la vitesse $v = 0,27 \text{ mm.s}^{-1}$.

* On choisit comme origine des énergies potentielles et de pesanteur : le plan passant par la plaque N.

- 1- Calculer l'énergie potentielle de pesanteur de la goutte d'huile à la plaque P.
 - 2- Calculer l'énergie potentielle électrostatique de la goutte à la plaque P.
- En déduire l'énergie poentielle totale E_p .
- 3- Comparer l'énergie totale E_p à celle E_N à la plaque N.
- Conclure.