Niveau : 1ères CDE **Discipline :** **PHYSIQUE-CHIMIE**	**CÔTE D'IVOIRE – ÉCOLE NUMÉRIQUE** **THEME**: ELECTRICITE ET ELECTRONIQUE	

TITRE DE LA LEÇON : ENERGIE POTENTIELLE ÉLECTROSTATIQUE :

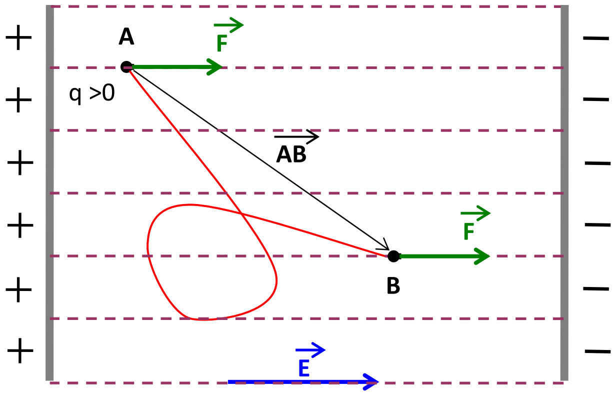
I. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Dans un documentaire à la télévision, un élève en classe de 1ère C au Lycée municipal de GUITRY, apprend que : « Le mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme est analogue au mouvement d'un projectile de masse m dans un champ de pesanteur. À partir du travail du poids, on définit l'énergie potentielle de pesanteur, de même l'énergie potentielle électrostatique est définie à partir de la force électrostatique.» Très intéressé par le sujet, cet élève veut s'informer davantage. Il se propose avec ses camarades de classe, sous la conduite de leur professeur, de connaître l'expression du travail de la force électrostatique dans un champ uniforme, de connaître l'expression de l'énergie potentielle électrostatique et d'utiliser ces relations.

II. CONTENU DE LA LECON

1. TRAVAIL D'UNE FORCE ELECTROSTATIQUE :

Une particule de charge électrique (q), placée dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme, subit la force électrostatique $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.



Lorsque la force se déplace du point A au point B, le travail de la force $\vec{F}$ est :

$$\boldsymbol{W(\vec{F}) = \vec{F}.\vec{AB} = q\vec{E}.\vec{AB}}$$

=>

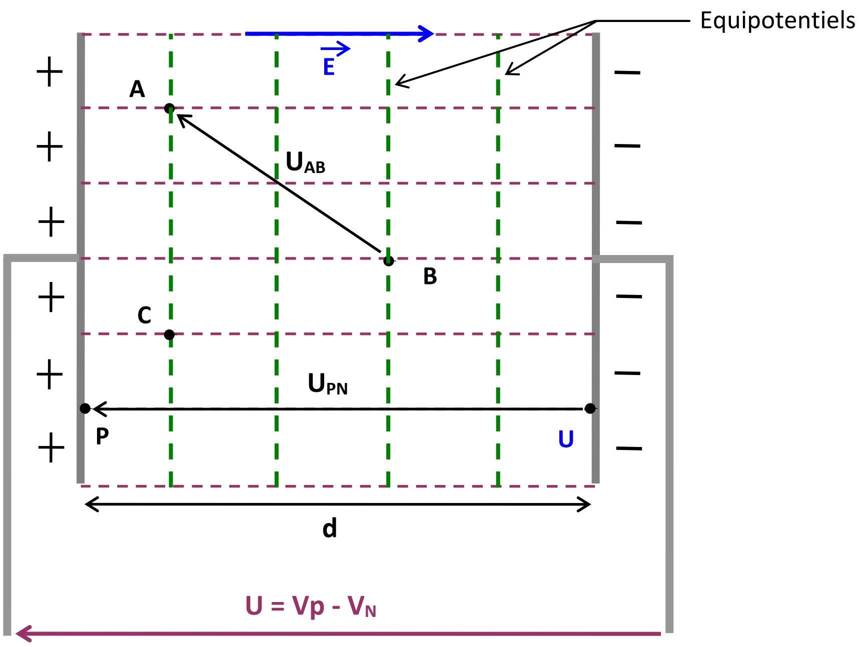
$$\boxed{\underset{J}{W_{A\to B}^{\vec{F}}} = \underset{C}{q} \times \underset{V/m}{E} \times \underset{m}{AB} \times \cos(\widehat{\vec{E},\vec{AB}})}$$

2. DIFFERENCE DE POTENTIELS : ddp

2.1. Définition :

Dans un champ électrostatique $\vec{E}$ uniforme, la différence de potentiels (ddp ou la tension) entre deux points A et B est donnée par la relation :

$$\boxed{V_A - V_B = U_{AB} = \vec{E} \cdot \vec{AB}} \Rightarrow \boxed{\underbrace{V_A - V_B}_{V} = \underset{V/m}{E} \times \underset{m}{AB} \times \cos(\widehat{\vec{E},\vec{AB}})}$$



2.2.Sens de $\vec{E}$:

Le champ $\vec{E}$ est dans le sens des potentiels décroissants.

2.3.Les équipotentiels :

Un équipotentiel est l'ensemble des points qui ont le même potentiel électrostatique.
Les équipotentiels sont des droites perpendiculaires aux lignes de champ.

2.4.Unité du champ électrostatique :

Soient les points P et N situés sur les plaques. Ils ont pour potentiels V_P et V_N.

La ddp $V_P - V_N = U$; la tension appliquée aux plaques.

$$\boxed{\mathbf{E} = \frac{\mathbf{V_P - V_N}}{\mathbf{d}} = \frac{\mathbf{U}}{\mathbf{d}}}$$

Activité d'application 1 : Un champ électrostatique uniforme règne entre les plaques positive P et négative N d'un condensateur plan. Ces plaques sont distantes de d = 5 cm et la tension positive entre elles U = 6 V.

1. Donne les caractéristiques du champ électrostatique qui règne entre P et N
2. Calcule la distance d'séparant les lignes équipotentielles passant par le point A et par le point B.
3. Détermine la ddp U_{AB} entre les points A et B respectivement situés à 1cm de P et 2 cm de N.

Solution :

1. / voir cours ; $E = \frac{U}{d} = \frac{6}{0,05} = 120\ V/m$ 2. / d' = 5-1- 2 = 2 cm 3. / $E = \frac{U_{AB}}{d'}$ donc $U_{AB} = E.d'$
   U_{AB} = 120.(0,02) = 2,4 V

2.5. Autre expression du travail :

$$\boxed{W_{A \to B}^{\vec{F}} = q \times \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB} = \mathbf{q} \times (V_A - V_B) = \mathbf{q} \times U_{AB}}$$

J C V

3. ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE :

3.1. Energie potentielle électrostatique :

Une particule de charge électrique (q) placée au point (M) de potentiel électrostatique V_M, possède une énergie potentielle électrostatique défini par :

$$\boxed{E_{p\,(M)} = q \times V_M}$$

J C V

3.2.Energie mécanique :

En tout point de l'espace champ électrostatique $\vec{E}$, l'énergie mécanique d'une particule de charge (q), de masse (m) et de vitesse v, est la somme de son énergie cinétique et de son énergie potentielle électrostatique.

$$\boxed{E_M = E_C + E_P} \Rightarrow \boxed{E_M = \frac{1}{2} m v^2 + qV}$$

3.3.Autre unité de l'énergie : électronvolt (eV)

1eV = 1× (1,6.10^{-19}C) ×(1V) = 1,6.10 $^{-19}$ J $\boxed{\mathbf{1eV = 1{,}6.10^{-19}\,J}}$

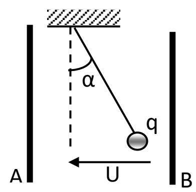
Activité d'application 2

Reprenons le dispositif de l'Activité d'application 1. Calcule en joules et en électronvolts le travail de la force électrostatique soumise à un électron se déplaçant du point B vers le point A.

Solution : $W_{BA}(\vec{F}) = -eU_{BA} = eU_{AB}$ *AN :* $W_{BA}(\vec{F}) = 1{,}6.10^{-19} \times 2{,}4 = 3{,}84.10^{-19}\ C = 2{,}4\ eV$

SITUATION D'EVALUATION

Tu découvres avec ton voisin dans vos recherches que le dispositif schématisé ci-contre peut être utilisé pour déterminer la tension du fil d'un pendule électrostatique.



Ce dispositif est constitué de deux plaques métalliques conductrices parallèles A et B, séparées par une distance d et soumises à une tension U. Le pendule électrostatique est constitué d'un fil attaché à une de ses extrémité à une charge électrique q positive de masse m. Placé entre les deux plaques, il prend la position d'équilibre dans laquelle le fil fait d'un angle α par rapport à la verticale.

Données : $|U| = 10^4 V$; d = 10 cm ; q = 8.10^{-8}C ; m = 1 g ;
g = 10 N/kg.

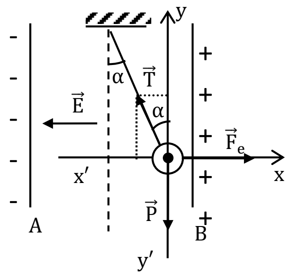
1. Donne :
   1.1.Le signe de la différence de potentiel U_{AB}.
   1.2.Les caractéristiques du champ électrostatique qui règne entre les deux plaques.
2. Détermine l'angle α que le fil fait avec la verticale
3. Calcule la tension du fil.

Solution

1.1 $\vec{E}$ est orienté dans le sens des Potentielles décroissant donc : $V_B > V_A$ soit encore $V_A - V_B < 0 \Rightarrow U_{AB} < 0$.

En conclusion : $U < 0$

1.2 $E = \frac{|U|}{d} = -\frac{U}{d} = 10^5 V/m$



2. <u>Système</u> : la charge q

<u>Bilan des forces</u> :

$\vec{P}$: poids de la charge

$\vec{T}$: tension du fil

$\vec{F_e}$: la force électrostatique.

A l'équilibre : $\vec{F_e} + \vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$

Projection sur (x'x) : $F_e - T\sin\alpha = 0$ (1)

Projection sur (y'y) : $T\cos\alpha - P = 0$ (2)

(1) $\Rightarrow F_e = T\sin\alpha$ et (2) $\Rightarrow P = T\cos\alpha$

$\frac{F_e}{P} = \frac{T\sin\alpha}{T\cos\alpha} = \tan\alpha \Rightarrow \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{q\,E}{P}\right)$; $\alpha = 38{,}66°$

3. (2) $\Rightarrow T = \frac{m\,g}{\cos\alpha}$; $T = 0{,}013$ N

III. <u>EXERCICES</u>

<u>Exercice</u> 1

1. Ecris l'expression du travail de la force électrostatique dans un champ uniforme.
2. Donne l'expression de l'énergie potentielle électrostatique placé en un point M.

<u>Solution</u>

1. $W_{AB}(\vec{F}) = q\,\vec{E}.\overrightarrow{AB} = q(V_A - V_B)$

2. $E_{P_A} = q\,V_M$

<u>Exercice</u> 2

Construis une phrase correcte en rapport avec la variation de l'énergie potentielle électrostatique avec les mots ou expressions suivants :

appliquée/ est égal / de l'énergie potentielle électrostatique/ de la force électrostatique/ entre deux points/ à la diminution/ le travail/ à une particule chargée

<u>Solution</u>

Le travail de la force électrostatique appliquée à une particule entre deux points est égal à la diminution de l'énergie potentielle électrostatique

<u>Exercice</u> 3

Réponds par vrai ou par faux, et justifie la réponse :

1. Le travail de la force électrostatique dépend des chemins suivis par une charge pour aller de A et B.
2. Le vecteur champ électrostatique $\vec{E}$ en un point M perpendiculaire aux surfaces équipotentielles.
3. La variation de l'énergie potentielle d'une charge ne dépend que du déplacement.
4. Le travail de la force électrostatique n'est jamais nul.

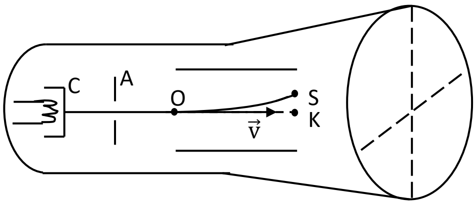
5. Un électron initialement au repos se déplace dans le sens des potentiels croissants.
6. Le champ électrostatique entre les armatures d'un condensateur est uniforme quelle que soit la forme géométrique de ses armatures.

Solution

1. Faux ; 2. Vrai ; 3. Faux ; 4. Faux : $W = 0$ si on déplace la charge sur une surface équipotentielle ;
5. Vrai ; 6. Faux : les armatures doivent être plane et parallèles.

Exercice 4

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un professeur de physique-chimie apprend à ses élèves le fonctionnement de l'oscilloscope, en s'appuyant sur le schéma ci-contre.



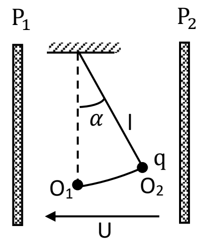
Les électrons sortent du canon à électron avec une vitesse supposée nulle et sont ensuite accélérés par une tension U = 1600 V appliquée entre la cathode C et l'anode A.
Ils pénètrent enfin avec une vitesse $v_0 = v_A$ entre les plaques de déviation horizontales en un point O situé à égale distance de chacune d'elle. Lorsque la tension U = 500 V est appliquée à ces plaques distantes de d = 2 cm, les électrons sortent de l'espace champ, en un point S tel que KS = L = 0,6 cm. Après S les électrons rencontrent l'écran fluorescent et forment un spot. L'origine des potentiels est fixée au point O.
Le professeur demande aux élèves de déterminer l'énergie cinétique des électrons à leur sortie des plaques.
Donnée : e = 1,6 .10 $^{-19}$ C
Tu fais partie de la classe

1. Donne le rôle de l'oscilloscope.
2. Calcule :
   2.1 la vitesse $v_A$des électrons à la sortie du canon puis déduis-en leur énergie cinétique E_{C_A}.
   2.2 le potentiel V_S du point S de l'espace champ.
3. Calcule en joule et en keV, l'énergie potentielle électrostatique d'un électron :
   3.1 en O
   3.2 en S.
4. Déduis-en l'énergie cinétique de sortie E_{CS} des électrons en keV.

Solution

2.1 Système : électron
Bilan des forces : $\vec{F}_e$: force électrostatique ; $P \ll F_e$
$\Delta E_C = W(\vec{F}_e) \Rightarrow \frac{1}{2} m v_A^2 = q\,(V_C - V_A) \Rightarrow v_A = \sqrt{\frac{2\,e\,U}{m}} = 2{,}37.10^7 \text{m/s}$
$E_{C_A} = \frac{1}{2} m v_A^2 = 1{,}6$ keV
2.2 $(V_E - V_D) = d.E\ (1)$ et $(V_S - V_K) = L.E(2)$.
$\frac{(1)}{(2)} \Leftrightarrow \frac{d}{L} = \frac{U}{(V_S - V_K)}$ or $V_K = 0 = V_O$ car K et O sont sur la même équipotentielle. On a donc $\frac{d}{L} = \frac{U}{V_S} \Rightarrow$
$V_S = \frac{U.L}{d} = 150\text{V}$
3.1/3.2 $E_{P_e}(O) = q\,V_O = 0\text{J}$; $E_{P_e}(S) = -e\,V_S = -2{,}4.\,10^{-17}\text{J}$
$E_{P_e}(S) = -150$ eV $= -0{,}15$ keV.
4. c $\Delta E_C = q(V_O - V_S) \Leftrightarrow E_{C_S} - E_{C_A} = e\,V_S \Rightarrow$
$E_{C_S} = e\,V_S + E_{C_A} = 1{,}75$ keV.

Exercice 5



Au cours d'une séance de travaux pratiques, des élèves étudient l'action d'un champ électrostatique $\vec{E}$ sur une charge négative q, de masse m = 1g, placée à l'extrémité d'un fil de longueur ℓ =10 cm (voir schéma ci-contre).
Le champ électrostatique est créé entre les plaques planes et parallèles P_1 et P_2, distantes de d = 10 cm, grâce à une tension $|U|$ constante. Lorsque le pendule est accroché au point O, il s'écarte d'un angle α vers la plaque P_2 et reste en équilibre.
Données : $|U| = 10^4$ V ; g = 10 N/kg ; $q = -10^{-8}$ C
Tu es sollicité pour aider les élèves à déterminer les valeurs de α et du travail de la force électrostatique lors du déplacement O_1 à O_2.

1.
   1.1 Donne le signe de U. Justifie.
   1.2 Détermine les caractéristiques du champ $\vec{E}$.
2. Détermine l'angle α.
3. Détermine la différence de potentiel $V_{O_1} - V_{O_2}$ entre les points O_1 et O_2.
4. Calcule le travail du poids de la charge et le travail de la force électrostatique de O_1 à O_2.

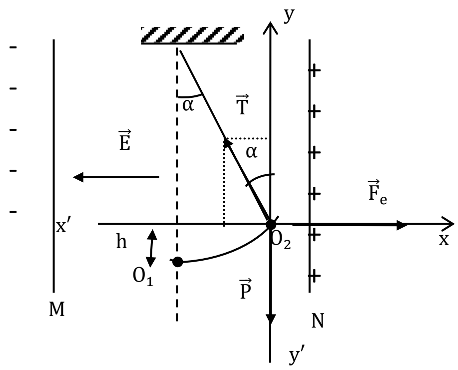
Solution

1. $\vec{F}_e = q\,\vec{E}$ or $q < 0$. Comme $\vec{F}_e$ est dirigé vers P_2, $\vec{E}$ est orienté de P_2 vers P_1 dans le sens des potentiels décroissant : $V_{P_2} > V_{P_1}$ soit $U < 0$

2. Système : la charge q

Bilan des forces :

$\vec{P}$: Poids de la charge
$\vec{T}$: Tension du fil
$\vec{F}_e$: la force électrostatique.



A l'équilibre : $\vec{F}_e + \vec{P} + \vec{T} = \vec{0}$
Projection sur (x'x) : $F_e - T\sin\alpha = 0$ (1)
Projection sur (y'y) : $T\cos\alpha - P = 0$ (2)
(1) $\Rightarrow$ $F_e = T\sin\alpha$ et (2) $\Rightarrow P = T\cos\alpha$

$$\frac{F_e}{P} = \frac{T\sin\alpha}{T\cos\alpha} = \tan\alpha \Rightarrow$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{|q|\,E}{mg}\right) = 5{,}71°$$

3. $E = \frac{|U|}{d} = \frac{|V_{O_1} - V_{O_2}|}{\ell\sin\alpha} \Rightarrow (V_{O_1} - V_{O_2}) = \frac{\ell\sin\alpha}{d}\,U = -995V$

4. $W(\vec{P}) = -m\,g\,\ell\,(1 - \cos\alpha) = -1$ J
$W(\vec{F}_e) = q(V_{O_1} - V_{O_2}) = 995.10^{-8}$ J

IV. DOCUMENTATION

Energie potentielle électrostatique

Comment mesure-t-on l'énergie potentielle gravitationnelle d'un corps de masse m ? On le déplace d'une position initiale jusqu'à une position finale (on exerce donc une force) puis onle lâche sans vitesse initiale. S'il acquiert une vitesse, c'est qu'il développe de l'énergie cinétique. Or, en vertu du principe de conservation de l'énergie, cette énergie ne peut provenir que d'un autre réservoir énergétique, appelé énergie potentielle. Comment s'est constituée cette énergie potentielle gravitationnelle ? Grâce au déplacement du corps par l'opérateur.

Ainsi, le travail effectué par celui-ci est une mesure directe de l'énergie potentielle. On va suivre le même raisonnement pour l'énergie électrostatique.

Définition : l'énergie potentielle électrostatique d'une particule chargée placée dans un champ électrostatique est égale au travail qu'il faut fournir pour amener de façon quasi-statique cette particule de l'infini à sa position actuelle.

Prenons une particule de charge q placée dans un champ E. Pour la déplacer de l'infini vers un point M, un opérateur doit fournir une force qui s'oppose à la force de Coulomb. Si ce déplacement est fait suffisamment lentement, la particule n'acquiert aucune énergie cinétique.

Puisqu'on peut toujours définir le potentiel nul à l'infini, on obtient l'expression suivante pour l'énergie électrostatique d'une charge ponctuelle située en M: $W = qV$

On voit donc que le potentiel électrostatique est une mesure (à un facteur q près) de l'énergie électrostatique : c'est dû au fait que V est lié à la circulation du champ. Autre remarque importante : l'énergie est indépendante du chemin suivi.