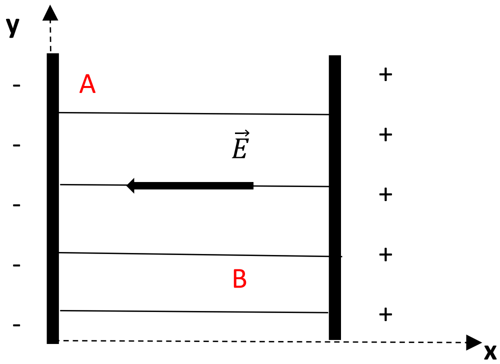
TRAVAIL DE LA FORCE ELECTROSTATIQUE-ENERGIE POTENTIELLE ELECTROSTATIQUE

I. TRAVAIL DE LA FORCE ELECTROSTATIQUE



$\vec{F} = q\,\vec{E}$

$\vec{E}$: champ électrique uniforme$\Rightarrow$ $\vec{F}$ est une force constante

Une particule chargée se déplace de A vers B

$W_{AB}(\vec{F})$ =?

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

$$\vec{E}\binom{-E}{0}\,;\,\overrightarrow{AB}\binom{x_B - x_A}{y_B - y_A} \qquad W_{AB}(\vec{F}) = -q\,E\,(\,x_B - x_A) \Rightarrow W_{AB}(\vec{F}) = q\,E\,(x_A - x_B)$$

Le travail de la force électrostatique, lors du déplacement d'une charge **q** d'un point A à un point B dans un champ électrostatique uniforme est indépendant du chemin. Il ne dépend que des positions initiale **A** et finale **B** : La force électrostatique $\vec{F}$ est une force conservative

II. ENERGIE POTENTIELLE ELECTROSTATIQUE

1. Variation d'énergie potentielle électrostatique

$$\text{système (plaques , charge q)} \rightarrow \textit{système déformable}$$

$$\vec{F}: \textit{force intérieure conservative}$$

$$\vec{F}: \textit{force électrostatique}$$

Le système possède de l'énergie potentielle électrostatique

La variation d'énergie potentielle électrostatique ΔE_p est égale est égale à l'opposé du travail de la force électrostatique $W_{AB}(\vec{F})$

$$\Delta E_p = -W_{AB}(\vec{F}) \Rightarrow E_p(B) - E_p(A) = -q\,E\,(\,x_A - x_B) \Rightarrow E_p(B) - E_p(A) = q\,E\,(\,x_B - x_A)$$

$$E_p = q\,E\,x + K \ \textit{avec}\ K\!: \textit{une constante} \qquad E_p = q\,E\,x + K$$

L'énergie potentielle électrostatique est définie à une constante près

Choix de la référence : $\begin{cases} \textit{origine de l'énergie potentielle}: x = 0 \\ E_p = 0 \end{cases} \Rightarrow \quad K = 0$

$$E_p = q\,E\,x$$

2. Potentiel électrique

Le produit $E\,x$,dépendant de la norme du champ électrostatique E et de la position de la charge x est appelé **potentiel électrique ou potentiel électrostatique** et est noté $\boldsymbol{V}$

$$V = E\,x \Rightarrow E_p = q\,V$$

3. Différence de potentiel (d.d.p)

$x_B > x_A \Rightarrow V_B > V_A \Rightarrow V_B - V_A = U > 0\,.\,Posonrs\; d = x_B - x_A$

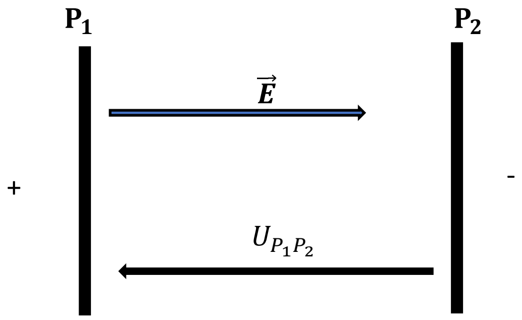
$U = tension\ électrique\ ou\ différence\ de\ potentiel$

$$\left.\begin{array}{l} V_B = E\,x_B \\ V_A = E\,x_A \end{array}\right\} \; V_B - V_A = E\,(x_B - x_A) \Rightarrow V_B - V_A = E\,d \;\Rightarrow U = E\,d$$

L'intensité du champ électrostatique uniforme **E** entre les armatures d'un condensateur plan, distantes de **d** est donnée par :

$\Rightarrow \quad E = \dfrac{U}{d}$	$U : Volt\ (V)$
	$d\ mètre\ (m)$
	$E : V.m^{-1}$

Représentation d'une tension et sens du champ électrostatique



Remarque :

- Le champ électrostatique a le sens des potentiels décroissants : Il est dirigé **toujours** de la plaque positive vers la plaque négative
- La notation U_{AB} d'une tension, désigne une grandeur algébrique, la flèche représentant U_{AB} est dirigée vers le point A

4. Autre expression du travail de la force électrostatique

$W_{AB}(\vec{F}) = q\,E\,(x_A - x_B) \;\Rightarrow W_{AB}(\vec{F}) = q\,(E\,x_A - Ex_B) \;\Rightarrow\; W_{AB}(\vec{F}) = q\,(V_A - V_B)$

$$W_{AB}(\vec{F}) = q\,U_{AB}$$

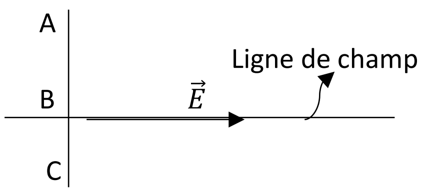
Autre unité d'énergie : l'électronvolt **(eV)**

$$\left.\begin{array}{r} \boldsymbol{q = e} \\ \boldsymbol{U = 1\,V} \end{array}\right\} \boldsymbol{W\,(\vec{F}) = 1,6.10^{-19} \times 1 = 1,6.10^{-19}\,J \Rightarrow 1\,eV = 1,6.10^{-19}J}$$

$\boldsymbol{1\,MeV = 1,6.10^{-13}}$	$\boldsymbol{1\,GeV = 1,6.10^{-10}}$

5. Lignes équipotentielles

C'est l'ensemble des points ayant même valeur du potentiel.



$V_A - V_B = ?$

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

$W(\vec{F}) = q\,(V_A - V_B)$

$V_A - V_B = \vec{E}.\overrightarrow{AB}$

$\vec{E} \perp \overrightarrow{AB} \Rightarrow V_A - V_B = 0 \Rightarrow V_A = V_B$

Les points A, B et C appartiennent à la même équipotentielle. Tes les points situés dans un plan perpendiculaire aux lignes de champ sont au même potentiel

III. ENERGIE MECANIQUE D'UNE PARTICULE CHARG2E DANS UN CHAMP MAGNETIQUE UNIFORME $\vec{E}$

Rappels :

Particule	Charge électrique (C)
Electron	$-e$
Proton	$+e$
Exemple : Ion positif Al^{3+}	$3\ e$
Exemple : Ion négatif O^{2-}	$-2\ e$
Exemple Noyau d'hélium ${}_2^4He$	$Z\ \ e\ avec\ Z = 2$

$: charge\ \acute{e}l\acute{e}mentaire\ e$

$e = 1{,}6.10^{-19}C$

$Z = num\acute{e}ro\ atomique$

Particule	Masse
Electron	$9,1.10^{-31}\ kg$
Proton	$1,67.10^{-27}\ kg$
Exemple : Ion positif ${}_{13}^{27}Al^{3+}$	$27\ u$
Exemple : Ion négatif ${}_8^{16}O^{2-}$	$16\ \ u$
Exemple Noyau d'hélium ${}_2^4He$	$4\ \ e\ avec\ A = 4u$

$m_{atome} \approx m_{noyau} \approx m_{ion}$

$m_{ion} = A\ u$ avec $u = 1{,}66.10^{27}kg$

$u = unit\acute{e}\ de\ masse\ atomique$

$$m = \frac{M \rightarrow Masse\ molaire(kg.mol^{-1})}{\mathcal{N}}$$

$\mathcal{N}: constante\ d'Avogadro$

$= 6{,}02.10^{23}\ mol^{-1}$

$$E_m = E_c + E_p$$

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme

- **Le poids de la particule P**
- **La force électrique F**

P négligeable devant F	P non négligeable devant F
$E_m = E_{cin\acute{e}tique} + E_{p\ electrique}$	$E_m = E_{cin\acute{e}tique} + E_{p\ electrique} + E_{p\ pesanteur}$
$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + q\ V$	$E_m = \frac{1}{2}mv^2 + q\ V + mg\ z$

Exercices d'application

Exercice n°1 :

Dans le repère $(0, \vec{i}\ , \vec{j}\ )$ règne un champ électrique uniforme $\vec{E} = 20\vec{i} + 30\ \vec{j}$ E est exprimé en V/cm. On considère les points A (2,2) ; B (-2, 3) ; C (-5, 4) ; F (0, 4) ; G (6,0). Les coordonnées sont exprimées en cm. Le potentiel est nul au point B.

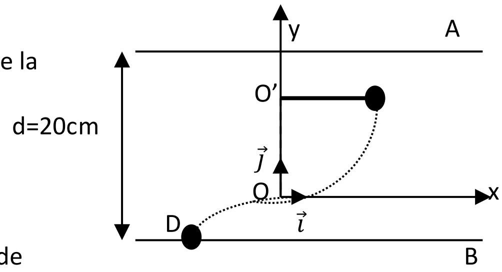
1°) Trouver le potentiel des points A, C, F et G

2°) Trouver le travail de la force électrostatique $\vec{F}$ lorsqu'un ion Mg^{2+}, introduit dans le champ électrostatique, passe de A à G.

3°) Calculer l'énergie potentielle de la particule Mg^{2+} aux points A, C et G. On prendra l'énergie potentielle électrostatique nulle au point B.

Exercice n°2 :

Une sphère conductrice M, assimilable à un point matériel, de masse m=2g et portant une charge q positive, est suspendue en point fixe O', par l'intermédiaire d'un fil isolant de longueur ℓ=10cm. Ce pendule ainsi constitué est placé entre deux armatures métalliques A et B, planes et horizontales distantes de d=20cm. Le point de suspension O' est situé à 5cm au-dessous de l'armature supérieure A. on applique entre les deux armatures, une différence de potentiel U_{AB}=2000V, créant alors entre A et B un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$.



1°) Donner les caractéristiques de la force électrostatique et de la force de pesanteur s'exerçant sur la sphère M.

2°) La sphère porte une charge q=0,5µC.
Le pendule est écarté de sa position d'équilibre d'un angle de 90°, et abandonné sans vitesse initiale. Déterminer la vitesse v_O de la sphère au passage à la verticale.

3°) Le fil se casse au passage à la verticale. Calculer la vitesse de la sphère au moment où elle touche l'armature B. g=10N/kg

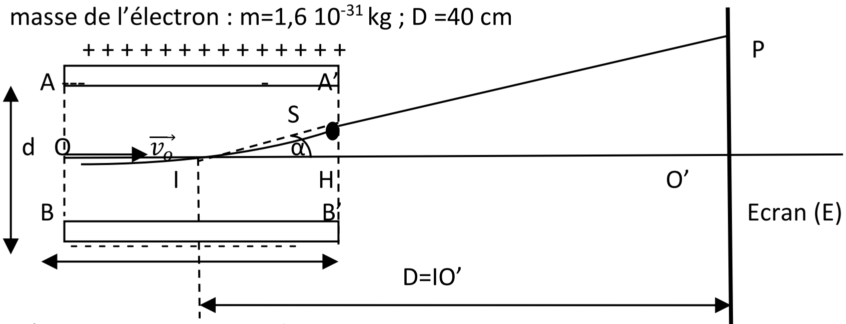
4°) On montre que l'équation cartésienne de la trajectoire du point matériel au-delà du point O dans le repère (O, $\vec{i}$, $\vec{j}$) est : $y = -\frac{1}{2}(g + \frac{qE}{m})\frac{x^2}{{v_O}^2}$. Calculer les coordonnées du point de contact D. On prendra g= 10N/kg

Exercice n°3 :

Dans un tube cathodique d'oscillographe électronique, un électron émis par le filament chauffé et accéléré par un champ électrostatique arrive en O entre deux plaques AA' et BB' parallèles horizontales avec une vitesse $\overrightarrow{v_o}$ portée par l'axe OHO'. La longueur des plaques est ℓ, la distance les séparant est d. La plaque BB' est au potentiel est au potentiel nul, la plaque AA' au potentiel V_A. L'électron, dévié dans le champ qui règne entre AA' et BB', sort du champ au point S.

Données numériques :

$v_o = 1{,}41.10^7 m.s^{-1}$, charge de l'électron :q= -e =1,6 10^{-19} C ;ℓ =10 cm ; d =5 cm ; V_A=100 V ; HS=5 mm ; masse de l'électron : m=1,6 10^{-31} kg ; D =40 cm



1°) Calculer le potentiel électrique au point S et au point H

2°) Calculer le travail de la force électrostatique appliquée à l'électron lorsqu'il se déplace de O en S

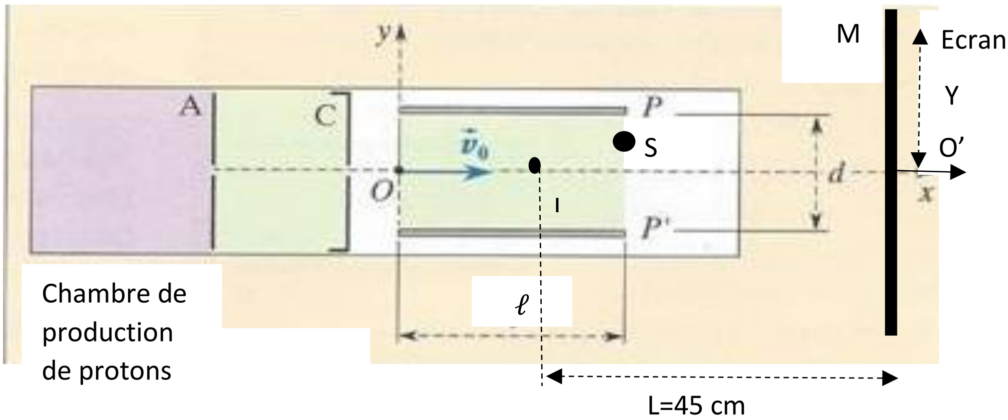
3°) En déduire la vitesse v_S de sortie de l'électron en S

4°) La trajectoire de l'électron entre O et S est un arc de parabole et on admet que la tangente en S à la parabole passe par le point I milieu de OH

a) A partir de S, en dehors du champ électrique, quelle sera la trajectoire de l'électron ?
b) L'électron rencontre l'écran fluorescent au point P. En l'absence de champ électrique entre les plaques AA' et BB', le point d'impact de l'électron serait O'. Calculer la déflexion électrostatique O'P

Exercice n°4

Dans le dispositif ci-contre, règne un vide poussé. Un faisceau homocinétique de protons et d'abord accéléré par une tension appliquée $U_{AC} = U_o = 2000\ V$ entre deux plaques A et C. Les protons pénètrent en 0 avec une vitesse v_o entre deux plaques parallèles P et P' distantes de d = 2,5 cm et de longueur ℓ = 10 cm, comme le montre le schéma ci-dessous



1.Calculer l'énergie cinétique et la vitesse des protons traversant la cathode

2.Le faisceau homocinétique de protons pénètre en 0 entre les plaques horizontales P et P'. On impose entre ces deux plaques une tension $U_{P'P} = U$ qui dévie les protons vers le haut

a) Donner la direction et le sens du vecteur champ $\vec{E}$ créé entre les deux plaques pour que le faisceau homocinétique de protons soit dévié vers le haut (point S du schéma).

b) Quel est alors le signe de la tension U établie entre les plaques P et P'

3°) On admet que l'équation de la trajectoire d'un proton pendant sa traversée dans le condensateur est :

$$y = \frac{eEx^2}{2m{v_o}^2}.$$

Les protons sortent du champ électrostatique au point S et sont reçus en M sur un écran placé perpendiculairement à l'axe (Ox) et situé à une distance L =45 cm du centre I du condensateur

a) Quelle est la nature de cette trajectoire ?

b) Pour que le faisceau de protons ne soit pas capté à la sortie des plaques lorsque x = ℓ, l'ordonnée doit vérifier $y < \frac{d}{2}$. Calculer numériquement la valeur maximale U_{max} de U à ne pas dépasser pour que le proton puisse sortir du condensateur sans heurter les plaques.

c) Quelle est la nature du mouvement des protons entre les points S et M ?

4° On donne $U = 200\ V$

a) . Déterminer les coordonnées et la vitesse du point S de sortie

b) Déterminer la déviation angulaire α =($\vec{v_o}, \vec{v_S}$)=($\overrightarrow{IS}, \vec{v}_o$) et la déflexion électrostatique Y=O'M, M étant l'ordonnée du point d'impact sur l'écran

c) Montrer que la déflexion Y est proportionnelle à la tension appliquée U

d) On appelle sensibilité le facteur k = $\frac{U}{Y}$. Exprimer k en fonction de D, d, ℓ et U puis calculer sa valeur en V/m puis en V/cm

Masse du proton 1,67.$10^{-27} kg$: