Bac S 2016 Centres étrangers — Correction © http://labolycee.org

EXERCICE I : ONDES ET ÉLECTRONS (6 points)

1. Diffraction d'un faisceau d'électrons

1.1. La diffraction est nettement observée lorsque la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle est du même ordre de grandeur, ou inférieure, à la longueur d'onde.

Remarque : pour la lumière, le phénomène de diffraction est observable même si la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle (ex : un cheveu) est 100 fois plus grande que la longueur d'onde.

1.2. On constate sur la figure1 que le passage des électrons à travers la feuille d'aluminium conduit à une figure de diffraction similaire à celle observée avec des rayons X. Le phénomène de diffraction étant caractéristique des ondes, cette expérience valide l'hypothèse du comportement ondulatoire des électrons.

1.3. La relation de de Broglie traduit **la dualité onde-particule** en associant une longueur d'onde à toute particule (matérielle ou non) selon la relation :

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

Constante de Planck (h)

Quantité de mouvement de la particule (aspect **particulaire**) (p)

Longueur d'onde associée à la particule (aspect **ondulatoire**) (λ)

2. Obtention d'un faisceau d'électrons

2.1. Comparons les ordres de grandeurs du poids P de l'électron et de la force électrique F qu'il subit.

$P = m.g$

$P = 9{,}11 \times 10^{-31} \times 9{,}8 = 10^{-29}\text{N}$

$$F = |q|.\text{E} = |-e|.\text{E} = \frac{e.U}{d}$$

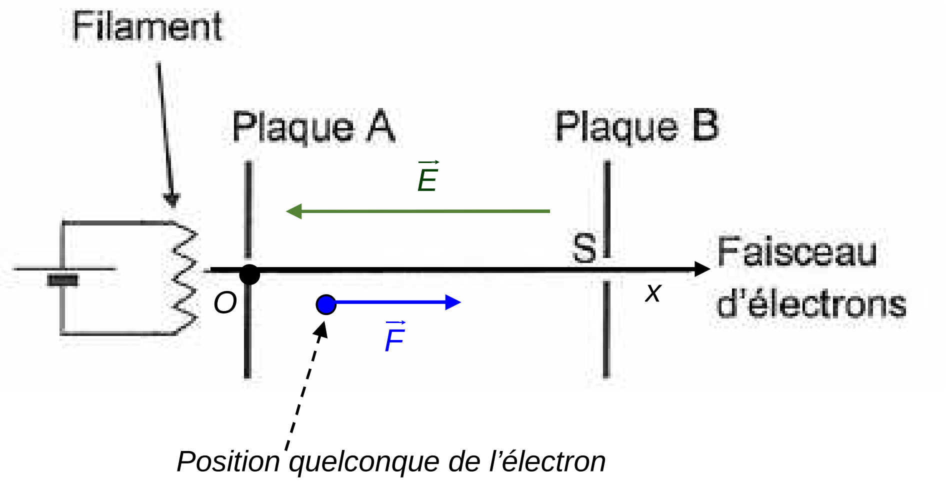
$$F = \frac{1{,}60 \times 10^{-19} \times 100}{1} = 10^{-17}\text{N}$$

En comparant les ordres de grandeurs, on constate que $P \ll F$ donc le poids de l'électron est bien négligeable devant la force électrique qu'il subit.

Remarque : il est surprenant que le sujet exige du candidat qu'il connaisse la valeur de g car elle n'est pas exigible.

2.2. L'électron étant accéléré entre la plaque A et la plaque B, la force électrique qu'il subit est forcément orientée de A vers B.

Cela implique que le champ électrique soit orienté de B vers A car $\vec{F} = q.\vec{E}$ soit ici $\vec{F} = -e.\vec{E}$



2.3. Appliquons la 2ème loi de Newton au système {électron} de masse *m* constante, dans le référentiel du laboratoire considéré galiléen : $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = m.\vec{a}$

$$-e.\vec{E} = m.\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{-e.\vec{E}}{m}$$

En projetant sur l'axe horizontal, orienté de A vers B (correspondant à la trajectoire de l'électron) :

$$a_x = \frac{-e.E_x}{m} = \frac{-e.(-E)}{m} = \frac{e.E}{m}$$ *($E_x = -E$ car $\vec{E}$ orienté vers la gauche)*

Par définition, $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ donc $a_x = \frac{dv_x}{dt}$

En intégrant : $v_x = \frac{e.E}{m}.t + C_1$ or d'après les conditions initiales à t = 0, $v_x(0) = 0$ donc $C_1 = 0$.

Ainsi $\boxed{v_x = \frac{e.E}{m}.t}$ **(1)**

Par définition, $\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$ donc $v_x = \frac{dx}{dt}$.

En intégrant : $x = \frac{e.E}{2m}.t^2 + C_2$ or à t = 0, $x(0) = 0$ donc $C_2 = 0$.

Ainsi : $\boxed{x = \frac{e.E}{2m}.t^2}$ **(2)**

Démarche : grâce à **(2)** on peut maintenant exprimer la date t_S à laquelle l'électron arrive en S puis en déduire la vitesse à cette date grâce à **(1)**.

(2) donne $x_S = d = \frac{e.E}{2m}.t_S^2$ donc $t_S = \sqrt{\frac{2m.d}{e.E}}$ (*calcul inutile*)

Dans **(1)** : $v_x = \frac{e.E}{m}.t_S = \frac{e.E}{m}.\sqrt{\frac{2m.d}{e.E}} = \sqrt{\frac{e^2.E^2}{m^2}.\frac{2m.d}{e.E}} = \sqrt{\frac{2e.E.d}{m}} = \sqrt{\frac{2e.\frac{U}{d}.d}{m}} = \sqrt{\frac{2e.U}{m}}$

Par définition, $v = \|\vec{v}\| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{v_x^2} = +v_x$ donc $\boxed{v_S = \sqrt{\frac{2e.U}{m}}}$.

2.4.1. En appliquant la relation de de Broglie à l'électron au point S : $p_S = \frac{h}{\lambda}$ donc $m.v_S = \frac{h}{\lambda}$

En remplaçant v_S par l'expression établie au 2.3. : $m.\sqrt{\frac{2.e.U}{m}} = \frac{h}{\lambda}$

$$\sqrt{2m.e.U} = \frac{h}{\lambda}$$

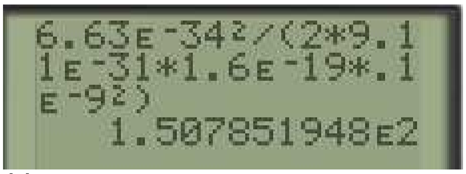
En élevant au carré $2m.e.U = \frac{h^2}{\lambda^2}$

$$\boxed{U = \frac{h^2}{2m.e.\lambda^2}}$$

La preuve que l'exo est vache.

2.4.2. En prenant $\lambda = 0{,}1\text{ nm} = 0{,}1\times10^{-9}$ m conformément à l'énoncé :

$$U = \frac{\left(6{,}63\times10^{-34}\right)^2}{2\times9{,}11\times10^{-31}\times1{,}60\times10^{-19}\times\left(0{,}1\times10^{-9}\right)^2} = 1{,}5\times10^{2}\text{ V}$$



Soit un ordre de grandeur de 10^2 V.
Ce résultat est bien conforme à l'énoncé qui indique « de l'ordre de 100 V ».

3. Une application technologique du phénomène : le microscope électronique

La résolution d'un microscope est proportionnelle à la longueur d'onde utilisée.
Pour un microscope optique, l'ordre de grandeur de la longueur d'onde moyenne du visible est de 10^3 nm.
Pour le microscope électronique, la longueur d'onde des électrons est bien plus faible, de l'ordre de 0,1 nm dans cet exercice.
Les chercheurs ont compris qu'avec un microscope électronique, on pourrait atteindre une résolution 10^4 fois plus petite qu'avec un microscope optique.

<u>Compétences exigibles ou attendues :</u>
En noir : officiel (Au B.O.)
En bleu (& italique) : officieux (au vu des sujets de Bac depuis 2013)

- Savoir que l'importance du phénomène de diffraction est liée au rapport de la longueur d'onde aux dimensions de l'ouverture ou de l'obstacle.
- Identifier les situations physiques où il est pertinent de prendre en compte le phénomène de diffraction.
- *Savoir que le phénomène de diffraction est caractéristique des ondes.*
- Extraire et exploiter des informations sur les ondes de matière et sur la dualité onde-particule.
- Connaître et utiliser la relation *de de Broglie* : $p = \frac{h}{\lambda}$.
- Connaitre les relations vectorielles $\vec{F} = q.\vec{E}$ et $\vec{P} = m.\vec{g}$ (1ère S).
- Identifier la direction et le sens du champ électrostatique $\vec{E}$ dans un condensateur plan (soit à partir des charges des armatures, soit en faisant le lien avec la force $\vec{F} = q.\vec{E}$ subie par une particule) (1ère S)
- Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en œuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes.
- *Connaitre la valeur de g l'intensité du champ de pesanteur terrestre.*
- Connaître les limites du spectre visible. (1ère S)
- Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules.