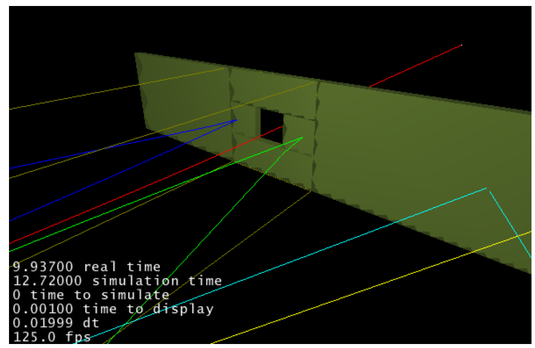
Chapitre 4.2c – Le sélecteur de vitesse et le spectromètre de masse

Le sélecteur de vitesse

Le sélecteur de vitesse (*Wien filter*) est un appareil constitué d'un champ électrique E et un champ magnétique B perpendiculaire l'un à l'autre permettant de dévier des particules en fonction de leur vitesse d'entrée (orientation et module). La vitesse de sélection $v_{\text{sél}}$ du sélecteur de vitesse correspond au rapport du le champ électrique E avec le champ magnétique B qui règne dans le sélecteur de vitesse :



Simulation obtenue à partir du simulateur de particule *Chess* illustrant la trajectoire de plusieurs particules de vitesses différentes. La trajectoire est illustrée en rouge représente le mouvement d'une particule ayant la vitesse de sélection.

$$v_{\text{sél}} = \frac{E}{B}$$

où $v_{\text{sél}}$: Vitesse de sélection (m/s)

E : Module du champ électrique (N/C)

B : Module du champ magnétique (T)

P.S. Uniquement les particules qui ont une vitesse v **égale** à la **vitesse de sélection** $v_{\text{sél}}$ avec le **bon sens** peuvent traverser le sélecteur de vitesse.

Preuve :

À partir d'un champ électrique $\vec{E}$ et d'un champ magnétique $\vec{B}$ perpendiculaire l'un à l'autre, déplaçons une particule chargée avec une vitesse $\vec{v}$ perpendiculairement à ces deux champs et évaluons le module de la vitesse requis pour qu'il n'y ait aucune déviation de la particule ce qui sera satisfait par la 1ière loi de Newton $\sum \vec{F} = 0$:

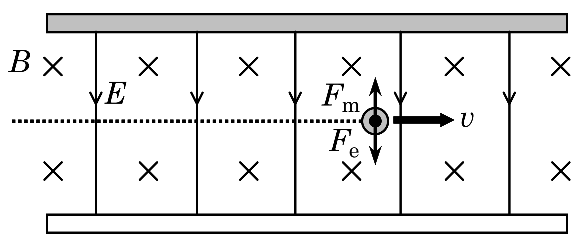


Schéma d'un sélecteur de vitesse

$\sum \vec{F} = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{F}_e + \vec{F}_m = 0$ (Force électrique et magnétique)

$\Rightarrow \quad q\vec{E} + q\,\vec{v} \times \vec{B} = 0$ ($\vec{F}_e = q\vec{E}$ et $\vec{F}_m = q\,\vec{v} \times \vec{B}$)

$\Rightarrow \quad \vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} = 0$ (Simplifier la charge q)

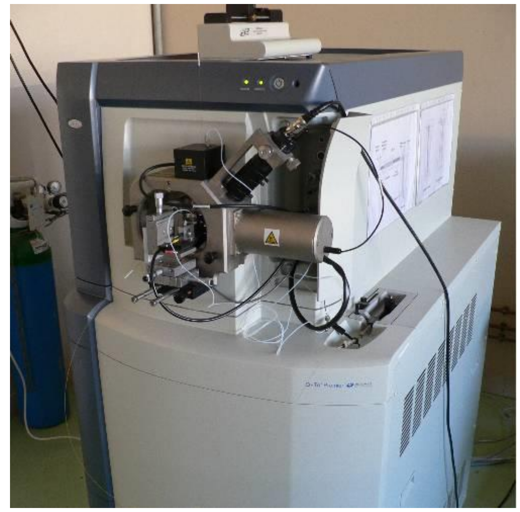
$\Rightarrow \quad E\,\hat{E} + vB\sin(\theta)\left(-\hat{E}\right) = 0$ ($\vec{E} = E\hat{E}$ et usage règle main droite)

$\Rightarrow \quad E - vB\sin(\theta) = 0$ (Simplifier $\hat{E}$)

$\Rightarrow \quad v = \dfrac{E}{B\sin(\theta)} \quad \blacksquare$ (Isoler v)

Le spectrographe de masse

Le spectromètre de masse est un appareil permettant de mesurer la masse de petits éléments comme des granules microscopiques[1], des molécules et des atomes. La précision de certain de ces appareils permet même de distinguer la masse de différents isotopes[2].



Spectromètre de masse industriel

Fonctionnement :

A : Production des particules à analyser. Ces particules ont des vitesses variables.

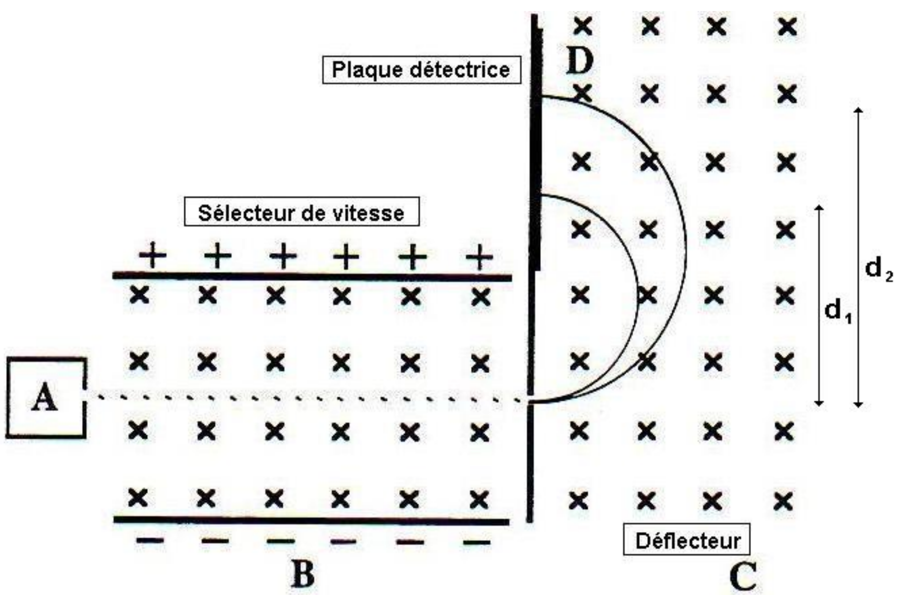
B : Le sélecteur de vitesse trie les particules à analyser et laisse passer seulement celles qui ont la vitesse de sélection

$$v_{\text{sél}} = \frac{E}{B}.$$

C : Le déflecteur est une zone où le champ magnétique est présent pour permettre aux particules d'effectuer une trajectoire circulaire partielle dont le rayon est déterminé par

$$r = \frac{mv}{qB}.$$

D : La plaque détectrice permet d'identifier la présence de la particule et de mesurer le rayon de la trajectoire circulaire via la mesure du diamètre d de la trajectoire.



[1] La masse de poudre de polymère de plastique utilisé comme peinture pour voiture est mesurée à l'aide d'un spectromètre de masse.

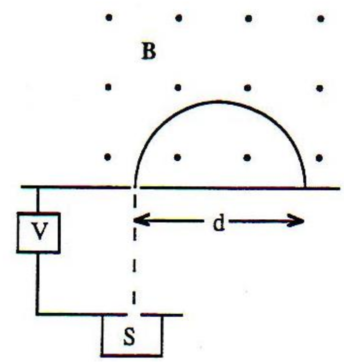
[2] Les isotopes d'un atome en particulier possèdent tous la même charge (même nombre de protons), mais possèdent des masses différentes en raison d'un nombre de neutrons différents.

Exercices

Référence : Note Science Santé – Chapitre 7 – Question 15

Dans un spectrographe de masse dessiné sur la figure, les charges sortent de la source S avec une vitesse négligeable, et sont accélérées par la différence de potentiel V. À partir de la trajectoire montrée, a-t-on accéléré des charges positives ou négatives ? Montrez que la masse m des charges est donnée par :

$$m = \frac{B^2 |q| d^2}{8\ |V|}$$

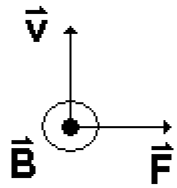


Référence : Note Science Santé – Chapitre 7 – Question 16

Un faisceau de protons et de deutérons (noyaux composés d'un proton et d'un neutron; $m_d = 2\ m_p$) pénètre dans un champ magnétique uniforme. Protons et deutérons ont été accélérés sous la même différence de potentiel. Si le faisceau est perpendiculaire à $\vec{B}$ et si les protons décrivent une trajectoire circulaire de 10 cm de rayon, calculez le rayon de la trajectoire des deutérons.

Solutions

<u>Référence :</u> Note Science Santé – Chapitre 7 – Question 15



et : $\vec{v} \times \vec{B} = \longrightarrow$

Alors $\vec{F} = q\,\vec{v} \times \vec{B}$

implique $q > 0$

<u>Force magnétique :</u>

$$F = qvB \qquad \text{et} \qquad a_c = \frac{v_c^2}{R}$$

$$\Rightarrow \quad F = ma_c$$

$$\Rightarrow \quad qv_cB = \frac{mv_c^2}{R}$$

$$\Rightarrow \quad v_c = \frac{qBR}{m}$$

Avec $R = d/2$:

$$\Rightarrow \quad v_c = \frac{qBd}{2m} \quad (1)$$

<u>Accélération sous ΔV :</u>

$$W_{nc} = \Delta K + \Delta U = \Delta K + q\Delta V$$

Avec $W_{nc} = 0,\ K_i = 0$:

$$\Rightarrow \quad -q\Delta V = \Delta K = K_f$$

$$\Rightarrow \quad -q(V_f - V_i) = K_f$$

Avec q > 0, posons $V_i = V$, $V_f = 0$:

$$\Rightarrow \quad qV = K_f = \frac{mv^2}{2}$$

$$\Rightarrow \quad m = \frac{2qV}{v^2} \quad (2)$$

On remplace (1) dans (2) :

$$m = \frac{2qV}{v^2} = 2qV\frac{1}{\left(\frac{qBd}{2m}\right)^2} = 2qV\frac{4m^2}{q^2B^2d^2} = \frac{8Vm^2}{qB^2d^2}$$

On simplifie les *m* :

$$m = \frac{qB^2d^2}{8\ V}$$

Référence : Note Science Santé – Chapitre 7 – Question 16

Voici le rayon de la trajectoire d'une particule chargée sous l'effet d'une force magnétique :

$$R = \frac{mv}{qB}$$

Alors :

$$R_p = \frac{m_p v_p}{qB} \quad \text{et} \quad R_d = \frac{m_d v_d}{qB} = \frac{2m_p v_d}{qB}$$

$$\Rightarrow \quad qB = \frac{m_p v_p}{R_p} \quad \text{et} \quad qB = \frac{2m_p v_d}{R_d}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{m_p v_p}{R_p} = \frac{2m_p v_d}{R_d} \quad \Rightarrow \quad R_p = R_d \frac{v_p}{2v_d}$$

Puisqu'ils ont été accélérés sous la même différence de potentiel, ils possèdent la même énergie cinétique finale :

$$\frac{m_p v_p^2}{2} = \frac{m_d v_d^2}{2} = \frac{2m_p v_d^2}{2} \quad \Rightarrow \quad \frac{v_p^2}{v_d^2} = 2 \quad \Rightarrow \quad \frac{v_p}{v_d} = \sqrt{2}$$

On remplace la relation entre les vitesses dans l'équation des relations des rayons :

$$R_p = R_d \frac{v_p}{2v_d} \quad \Rightarrow \quad R_p = R_d \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \; R_d \quad \Rightarrow \quad R_d = \sqrt{2} \; R_p$$

Avec un rayon de 10 cm pour le proton :

$$R_d = \sqrt{2} \; R_p = \sqrt{2} \; (0{,}1) = 0{,}141 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \boxed{R_d = 14{,}1 \text{ cm}}$$