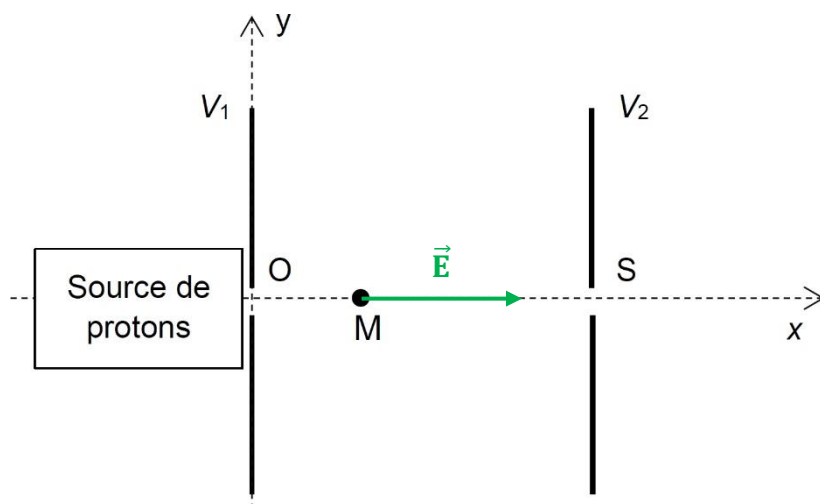


Accéléromètre linéaire Linac2 du CERN
(Bac Spécialité Physique-Chimie – Sujet zéro - 2021)

Corrigé réalisé par B. Louchart, professeur de Physique-Chimie
 © <http://b.louchart.free.fr>

1. Accélération initiale des protons dans un premier condensateur plan

1.1. $E = \frac{U}{d} = \frac{2,00}{10,0 \times 10^{-2}} = 20,0 \text{ MV.m}^{-1}$



1.2. poids : $\vec{P} = m \vec{g}$

force électrique : $\vec{F}_e = q \vec{E} = e \vec{E}$

$$\frac{F_e}{P} = \frac{eE}{mg} = \frac{1,6 \times 10^{-19} \times 20,0 \times 10^6}{1,67 \times 10^{-27} \times 9,81} = 2,0 \times 10^{14}$$

$$\Rightarrow F_e = 2,0 \times 10^{14} \times P$$

Le poids est donc négligeable devant la force électrique

1.3.

- système : {proton}
référentiel : terrestre, considéré galiléen
- bilan des forces extérieures appliquées au système :
 \vec{F}_e la force électrique : $\vec{F}_e = e \vec{E}$
Le poids est négligé devant la force électrique.

- D'après la 2^{ème} loi de Newton, $\Sigma \vec{F}_{\text{ext}} = m_p \vec{a}$
car le référentiel d'étude est considéré galiléen et la masse du système est constante.

$$\Rightarrow e \vec{E} = m_p \vec{a}$$

$$\Rightarrow \vec{a} = \frac{e}{m_p} \vec{E}$$

- Le proton a un mouvement rectiligne.
De plus, \vec{a} est constant ($\neq \vec{0}$).
 \Rightarrow il a un mouvement rectiligne uniformément varié
De plus, $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0 \Rightarrow$ il a un mouvement accéléré
Finalement, le proton a un mouvement rectiligne uniformément accéléré.

- 1.4.** D'après le théorème de l'énergie cinétique appliqué entre O et S,
 $E_c(S) - E_c(O) = W_{AB}(\vec{F}_e)$

$$\text{Or } W_{AB}(\vec{F}_e) = e \vec{E} \cdot \overrightarrow{OS} = (eE \vec{u}_x) \cdot (d \vec{u}_x) = eEd = e \times \frac{U}{d} \times d = eU$$

$$\text{On en déduit que : } E_c(S) - E_c(O) = eU$$

- 1.5.** Comme $E_c(S) = \frac{1}{2} m_p v_s^2$ et que $E_c(O) = \frac{1}{2} m_p v_o^2 = 0 \text{ J}$ (car le proton a une vitesse nulle en O),

$$\text{on obtient : } \frac{1}{2} m_p v_s^2 = eU$$

$$\Rightarrow v_s^2 = \frac{2eU}{m_p}$$

$$\Rightarrow v_s = \sqrt{\frac{2eU}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 2,00 \times 10^6}{1,67 \times 10^{-27}}} = 2,0 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$$

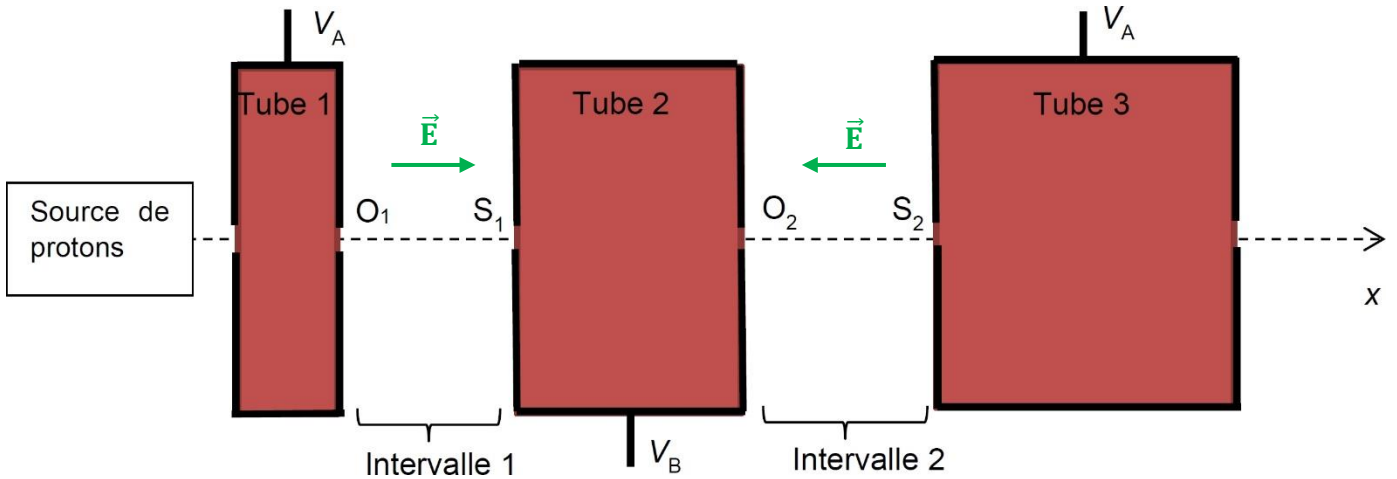
Cette vitesse est extrêmement élevée, mais est inférieure à $0,1 \times c$, donc l'étude de cette 1^{ère} phase d'accélération peut bien se faire dans le cadre de la mécanique newtonienne.

2. Principe du Linac2 – accélérateur linéaire

2.1. À $t = \frac{T}{4} = \frac{40}{4} = 10 \text{ ns}$, $U_a > 0 \Rightarrow V_A - V_B > 0 \Rightarrow V_A > V_B$

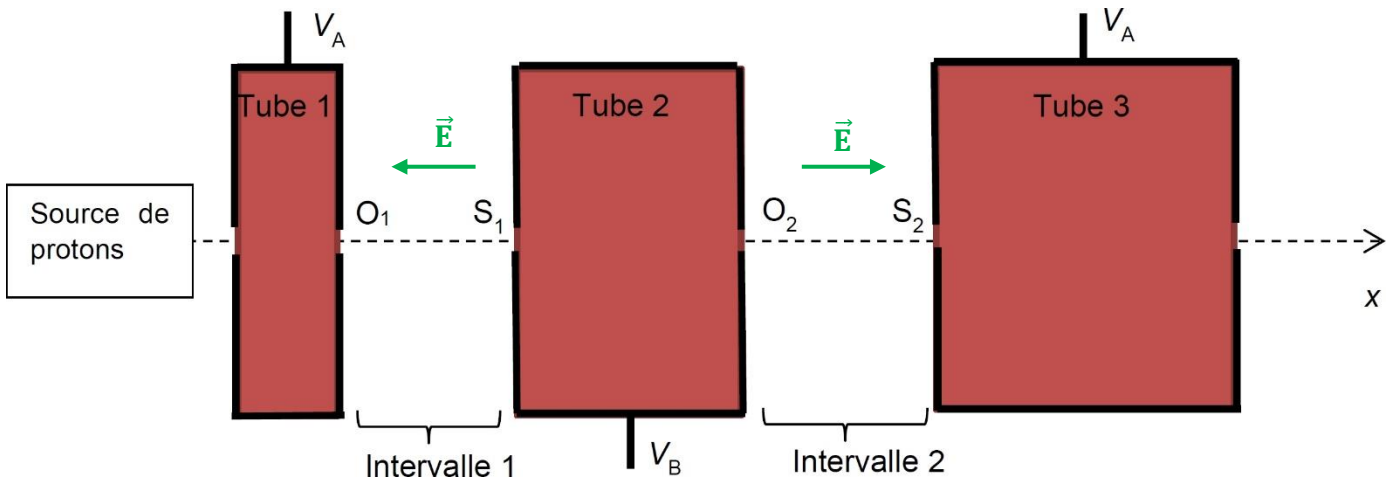
Comme le champ \vec{E} est orienté dans le sens des potentiels décroissants,

- dans l'intervalle 1, \vec{E} est dans la droite
- dans l'intervalle 2, \vec{E} est vers la gauche



2.2. À $t = \frac{3T}{4} = \frac{3 \times 40}{4} = 30 \text{ ns}$, $U_a < 0 \Rightarrow V_A - V_B < 0 \Rightarrow V_A < V_B$

Dans l'intervalle 1, \vec{E} est donc vers la gauche, et dans l'intervalle 2, vers la droite :



2.3. Pour que les protons soient accélérés de façon optimale dans chaque intervalle, il faut que le champ électrique change de sens, donc que la tension change de signe, à chaque fois que le proton arrive dans un nouvel intervalle.

Comme la tension change de signe tous les $\frac{T}{2} = 20 \text{ ns}$, il faut que le proton arrive dans un nouvel

intervalle au bout de $\frac{T}{2} = 20 \text{ ns}$ également.

Ainsi, pour que les protons soient accélérés de façon optimale dans chaque intervalle, ils doivent mettre une durée $\Delta t = \frac{T}{2}$ pour traverser chaque système {intervalle-tube}.

- 2.4.** Le proton accélère dans chaque intervalle, donc si les systèmes {intervalle-tube} avaient une longueur constante, la durée du parcours dans chacun de ces systèmes serait de plus en plus petite.

Or cette durée doit être constante : $\Delta t = \frac{T}{2}$

Il faut donc que la longueur des systèmes {intervalle-tube} soit de plus en plus grande.

Comme la longueur des intervalles est constante, c'est la longueur des tubes qui doit augmenter au fur et à mesure de l'avancée dans l'accélérateur linéaire.