Exercice : Etude du LHC

Q1 : $\boxed{\vec{F_e} = e.\vec{E}}$ (charge du proton = e)

Q2 : • Avec $E = 100 \times 10^3\ V.m^{-1}$ $\Rightarrow \|\vec{F_e}\| = e.\|\vec{E}\|$ → AN : $\|\vec{F_e}\| = 1{,}6 \times 10^{-14}\ N$

• pour le proton : poids $\|\vec{P}\| = m_p.g$ → AN : $\|\vec{P}\| = 1{,}6 \times 10^{-26}\ N$

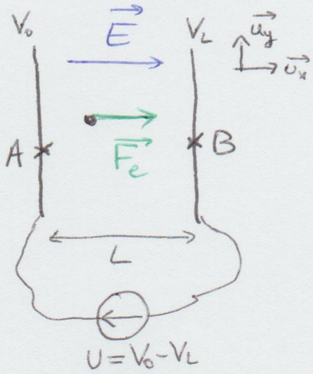
$$\frac{\|\vec{P}\|}{\|\vec{F_e}\|} = 10^{-12} \ll 1 \Rightarrow$$ Le poids du proton est négligeable devant la force $\vec{F_e}$.

Q3 : • système : {proton}

• référentiel : terrestre supposé galiléen

• bilan des forces : $\vec{F_e} = e.\vec{E}$

poids $\vec{P}$: négligé.



• Deuxième loi de Newton (système fermé) :

$$m_p.\vec{a} = \sum \vec{F_{ext}} = \vec{F_e}$$

$$\hookrightarrow \boxed{\vec{a} = \frac{e.\vec{E}}{m_p}}$$

Q4 : $E = \dfrac{V_0 - V_L}{L} \Rightarrow \boxed{V_L = V_0 - E.L}$ Avec $V_0 = 0 \Rightarrow \boxed{V_L = -E.L}$

Q5 : Théorème de l'énergie cinétique appliqué au proton :

$$E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{F_e}) = \vec{AB}.\vec{F_e}$$

← La composante suivant $\vec{u_y}$ de $\vec{F_e}$ étant nulle, on ne considère que la composante suivant $\vec{u_x}$ de $\vec{AB}$

$$\hookrightarrow E_c(B) - E_c(A) = L \times e.E$$

Avec $E_c(A) \simeq 0$: $\boxed{E_c(B) = L.e.E}$

puisque (Q4) $E = \dfrac{-V_L}{L}$ → $\boxed{E_c(B) = -V_L.e}$ ⚠ $V_L < 0$

Q6 : D'après le théorème de l'énergie cinétique :

Entre 2 tubes : $\Delta E_c = W_{T_1T_2}(\vec{F_e}) = \vec{T_1T_2}\cdot\vec{F_e} = T_1T_2 \cdot e \cdot E = T_1T_2 \cdot e \cdot \frac{U_c}{T_1T_2}$

{ T_1 Fin du tube 1
{ T_2 début du tube 2

↳ $\boxed{\Delta E_c = e \cdot U_c}$

Q7 : Avant le 1er tube : $E_{c,0} = e \cdot U_0$

Accélération entre tube 1 et 2 : à la sortie du 2ème tube : $E_{c,2} = e.U_0 + e.U_c$

——— 2 et 3 : ——— 3ème tube : $E_{c,3} = e.U_0 + 2e.U_c$

——— 3 et 4 : ——— 4ème tube : $E_{c,4} = e.U_0 + 3.e.U_c$

⋮

à la sortie du nème tube : $\boxed{E_{c,n} = e.U_0 + (n-1)e.U_c}$

Q8 : AN : $E_{c,10} = 1{,}6 \times 10^{-19} \times 200 \times 10^3 + 9 \times 1{,}6 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^6 = \underline{2{,}9 \times 10^{-12}\,J}$

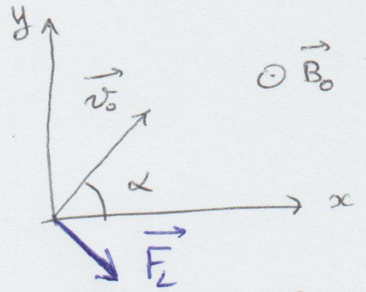
$\boxed{v_{10} = \sqrt{\frac{2\,E_{c,10}}{m}}}$ AN : $\underline{v_{10} = 6{,}0 \times 10^7\ m.s^{-1}}$

Q9 : $v_{10} < \frac{c}{3}$ $\left(6{,}0 \times 10^7 < \frac{3{,}0 \times 10^8}{3}\right)$ ⟹ Ces protons ne sont pas relativistes.

Q10 : Force de Lorentz : $\vec{F_L} = q(\vec{E} + \vec{v} \wedge \vec{B_0})$

ici $\vec{E} = \vec{0}$ donc $\boxed{\vec{F_L} = q.\vec{v} \wedge \vec{B_0}}$ avec $q = e$ pour le proton

Q11 :



produit vectoriel implique :

$\vec{F_L}, \vec{v_0}, \vec{B_0}$: base directe (règle de la main droite)

$\|\vec{F_L}\| = e.v_0.B_0.\sin(\frac{\pi}{2}) = e.v_0.B_0$

↑ d'après le schéma $\vec{v_0} \perp \vec{B_0}$

Q12 : puissance fournie par la Force de Lorentz : $\mathcal{P}(\vec{F_L}) = \vec{v}\cdot\vec{F_L} = \vec{v}\cdot q(\vec{v} \wedge \vec{B_0}) = 0$ car $\vec{v} \perp (\vec{v} \wedge \vec{B_0})$ par définition

↳ <u>La Force ne travaille pas.</u>

Théorème de la puissance cinétique :

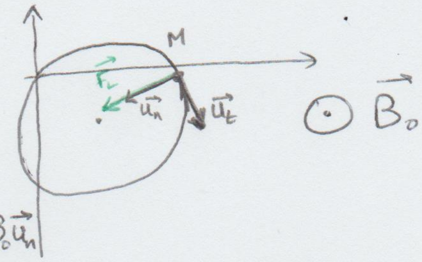
$\frac{dE_c}{dt} = \mathcal{P}(\vec{F_L}) = 0$ ⟹ E_c = constante ⟹ Norme de la vitesse = constante ($E_c = \frac{1}{2} m v^2$)

⟹ <u>Définition d'un mouvement uniforme</u>

Q13 :

- système : {proton}
- référentiel : terrestre supposé galiléen
- bilan des forces :
  - poids négligé
  - force de Lorentz : $\vec{F_L} = e(\vec{v} \wedge \vec{B_0})$

$= e\begin{pmatrix}0\\v\\0\end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix}0\\0\\B_0\end{pmatrix} = evB_0\vec{u_n}$



- 2ème loi de Newton :

$$m.\vec{a} = \sum \vec{F_{ext}} = \vec{F_L} = e.v.B_0.\vec{u_n}$$

comparaison avec accélération dans la base de Frenet : $\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{u_t} + \frac{v^2}{R}\vec{u_n}$

par identification sur $\vec{u_n}$: $\frac{e.v.B_0}{m} = \frac{v^2}{R}$

$$\hookrightarrow \boxed{R = \frac{v.m}{e.B_0}}$$

Q14 : Après la sortie de la zone de champ magnétique, le proton devient un système quasi-isolé (poids négligé).
D'après le principe d'inertie, sa trajectoire est rectiligne et uniforme.