

Thème : Description d'un mouvement.
TP C9 : Mouvement dans un champ électrique \vec{E}
(version élèves)

Principe de l'accélérateur linéaire de particules chargées.

I. Etude d'une vidéo diffusée par l'Ecole polytechnique de Lausanne (EPFL).

<https://www.youtube.com/watch?v=nFXium9gdzI>

Durée : 28 s.

Un flux d'électrons émis vers la droite est observé grâce à un écran fluorescent. Il est soumis à un champ électrique \vec{E} créé par deux plaques horizontales.

Dans la première partie de la vidéo, on observe une déviation des électrons vers le bas de l'écran. Répondre aux questions par des représentations sur la figure ci-dessous.

1. En déduire le signe des plaques horizontales.
2. En déduire le sens du champ électrique uniforme dirigé perpendiculairement aux plaques. Représenter-le sans souci de grandeur.
3. Représenter en un point de la trajectoire, sans souci de grandeur, la force \vec{F} exercée sur un électron, sachant que l'on a $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, q étant la charge d'un électron.

Dans la seconde partie de la vidéo, on observe une déviation des électrons vers le haut de l'écran. Répondre aux mêmes questions que dans la première partie.

4. Quelle manipulation a dû effectuer le manipulateur afin de changer le sens de déviation des électrons ?

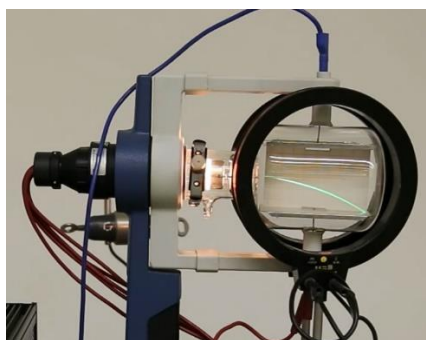


Figure 1

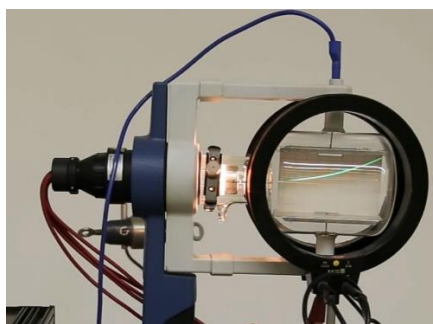


Figure 2

I. Etude d'une vidéo diffusée par l'Ecole Polytechnique de Paris

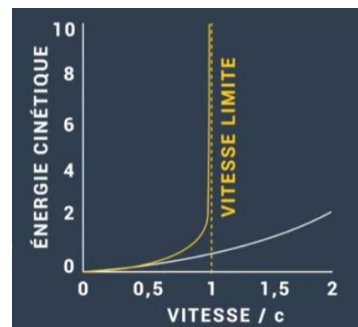
<https://fr.coursera.org/lecture/physique-infiniment-petit/les-accelerateurs-de-particules-mjMRy>

Durée : 9 min 13 s

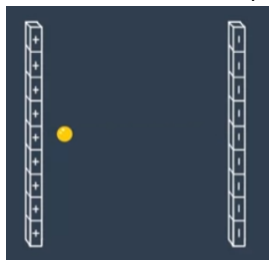
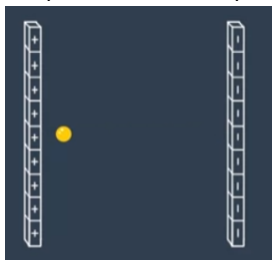
Professeur : Sébastien Bousson – Physicien à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay

Questions :

1. Que peut faire un accélérateur de particules ?
2. Dans le cadre du programme de terminale, nous étudions uniquement des mouvements d'objets ou de particules dont la vitesse est inférieure à $1/10^{\text{ème}}$ de la vitesse de la lumière. Toutefois, dans un accélérateur de particules où les vitesses sont dites relativistes ($v > \frac{c}{10}$), pourquoi les physiciens évoquent plutôt une augmentation de l'énergie cinétique de la particule qu'une accélération (augmentation de la vitesse) à proprement parlé ?

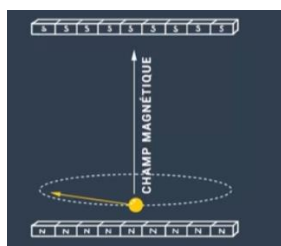


- 3. Quel est le point commun des différentes particules pouvant être accélérées dans cet appareil ?
- 4. Les particules électriques sont placées dans un champ électrique \vec{E} . Donner le sens du champ dans les cas suivants :



- 5. Si la particule est positive comme un proton H^+ , quelle sera l'orientation de la force \vec{F} qui s'exerce sur celui-ci dans les deux cas ?

- 6. La force de Lorentz possède une composante électrique (programme de terminale) et une composante magnétique (hors programme). Quel est le rôle de cette composante magnétique dans un accélérateur de particule ? Quelle est sa direction ?




- 7. L'électron-volt, une autre unité d'énergie. L'unité internationale de l'énergie est le Joule. Que vaut 1 eV en Joule ?
- 8. Que vaut 1 TeV en eV ?

- 9. Quelle peut-être la taille d'un accélérateur de particule ?
- 10. Ecrire les limites possibles du courant de particules en Ampère :

..... A < I < A

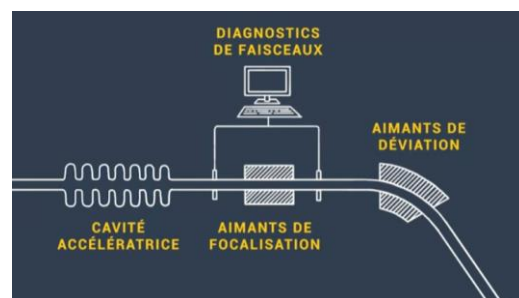
CARACTÉRISTIQUES

- taille de l'accélérateur
- courant (flux de particules)
- taille transverse des faisceaux
- structure des faisceaux
- luminosité (nombre de particules/seconde/unité de surface)



- 11. Il existe deux types d'accélérateurs :
 - Les accélérateurs électrostatiques (programme de terminale)
 - Les accélérateurs radiofréquences (hors programme)

Le champ électrique dans un accélérateur électrostatique est-il uniforme ? Justifier votre réponse.



- 12. Comment s'oriente le champ électrique au cours du temps dans un accélérateur radiofréquence ? Quel en sera la conséquence ?
- 13. Quel est le défaut des cavités accélératrices en cuivre par rapport aux cavités supraconductrices ?
- 14. On peut dévier les particules par des aimants de déviation. Mais on peut également focaliser ses particules à l'aide d'aimant de focalisation.
 - Quel est l'équivalent en optique de ces aimants ?
 - Pourquoi les particules ont-elles naturellement tendance à s'écartier les unes des autres ?
- 15. Il existe des accélérateurs circulaires et linéaires. Dans lequel, il y a-t-il perte d'énergie par rayonnement synchrotron ? Quel est de ces deux types d'accélérateurs le plus efficace ? Pourquoi ?
- 16. Donner une utilisation en physique nucléaire des accélérateurs de particules.
- 17. Qu'est-ce la protonthérapie ?

Exercice d'application

Mots clés : mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme, accélérateur de particules chargées.

L'accélérateur linéaire « Linac2 » permet de communiquer une vitesse importante aux protons que les chercheurs utilisent ensuite dans les expériences menées au laboratoire européen pour la physique des particules (CERN) afin d'explorer la structure de la matière. Les protons, initialement au repos, atteignent l'énergie de 50 MeV à la sortie de l'accélérateur. Ils pénètrent alors dans le « Synchrotron injecteur », le maillon suivant de la suite d'accélérateurs du CERN, qui les porte à une énergie encore plus élevée.



D'après : <https://home.cern/fr/science/accelerators/linear-accelerator-2>.

Données

- Charge du proton : $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C.
- Masse du proton : $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$ kg.
- Champ de pesanteur terrestre : $g = 9,81$ m·s⁻².
- 1 eV = $1,6 \times 10^{-19}$ J.
- 1 MV = 10⁶ V.

« Linac2 » est un accélérateur linéaire dans lequel les protons passent par une succession de zones modélisables par des condensateurs plans et où règne un champ électrique et de zones où ne règne aucun champ électrique. Dans une première partie, l'étude porte sur l'accélération initiale des protons par un condensateur plan, puis dans une seconde partie, sur le principe des accélérations successives des protons dans le « Linac2 ».

1. Accélération initiale des protons dans un premier condensateur plan

Un proton entre dans le condensateur plan avec une vitesse initiale nulle en O (figure 1). Une tension électrique positive $U = V_1 - V_2$ est appliquée entre les plaques du condensateur séparées d'une distance d .

Le champ électrique \vec{E} créé entre les plaques est supposé uniforme, dirigé dans le sens de l'axe Ox et de norme $E = \frac{U}{d}$.

Les plaques sont percées en O et S pour laisser passer les protons.

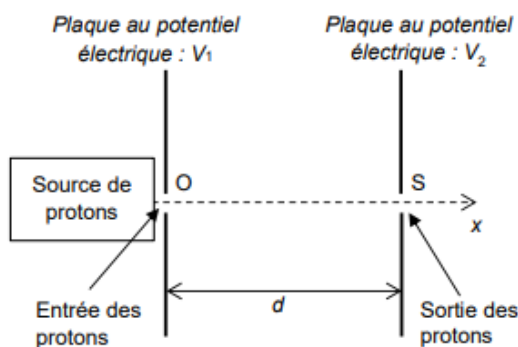


Figure 1. Schéma du condensateur plan

Caractéristiques du condensateur :

- distance entre les plaques : $d = 10,0$ cm ;
- tension électrique appliquée : $U = V_1 - V_2 = 2,00$ MV.

Le mouvement du proton dans le condensateur est étudié dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

1.1. Représenter, sur le document Figure 1, le vecteur champ électrique \vec{E} au point M. Échelle : 1 cm représente 10 MV·m⁻¹.

1.2. Comparer la valeur du poids d'un proton avec celle de la force électrique à laquelle il est soumis à l'intérieur du condensateur. Conclure.

1.3. Déterminer l'expression du vecteur accélération du proton \vec{a} en fonction de m_p , e , \vec{E} . En déduire la nature de son mouvement dans le condensateur.

1.4. En appliquant le théorème de l'énergie cinétique, montrer que la variation d'énergie cinétique du proton entre le point d'entrée O et le point de sortie S du condensateur est égale à :

$$E_C(S) - E_C(O) = eU.$$

1.5. En déduire l'expression de la vitesse v_S du proton à la sortie du premier condensateur en S en fonction de m_p , e et U . Déterminer sa valeur et commenter le résultat.