

L'accélérateur de particules au service de l'art

CONTEXTE DU SUJET

Après la découverte de l'électron par Thomson qui donna naissance à son modèle du Plum Pudding de l'atome, Ernest Rutherford, un de ses élèves, pas totalement convaincu par le modèle de son maître, eut l'idée de bombarder une feuille d'or de noyaux d'hélium propulsés à grande vitesse. Il observa une déviation de ces noyaux et prouva alors l'existence d'une « masse » chargée positivement autrement appelé le noyau de l'atome et mis également en évidence la structure lacunaire de l'atome. Un nouveau modèle de l'atome fut adopté, celui de Rutherford : le modèle planétaire.

Fort de cette découverte, Thomson dit :

1 927 E. Rutherford says, addressing the Royal Society :“... if it were possible in the laboratory to have a supply of electrons and atoms of matter in general, of which the individual energy of motion is greater even than that of the alfa particle, this would open up an extraordinary new field of investigation....”

Et ce fut la naissance des accélérateurs de particules, de la course au MV pour atteindre des vitesses extraordinaires et des nombreuses applications associées !

En médecine	En physique nucléaire	Dans l'aérospatial
La tomographie par émissions de positons (TEP)	LHC	Moteur ionique
 Vidéo Animation cyclotron	 Vidéo	 Vidéo Culture perso

Ici nous intéresserons à un autre domaine d'application, dans l'art.

Depuis décembre 1987, un accélérateur de particules baptisé AGLAE est installé au centre de recherche et de restauration des musées de France pour identifier les pigments recouvrant les œuvres.



QUELQUES DOCUMENTS

Document 1 : Quelques données

1 eV = $1,60 \times 10^{-19}$ J ;

masse du proton : $m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg ;

intensité du champ de pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$;

charge du proton : $e = 1,60 \times 10^{-19}$ C ;

constante de Planck : $h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s ;

constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

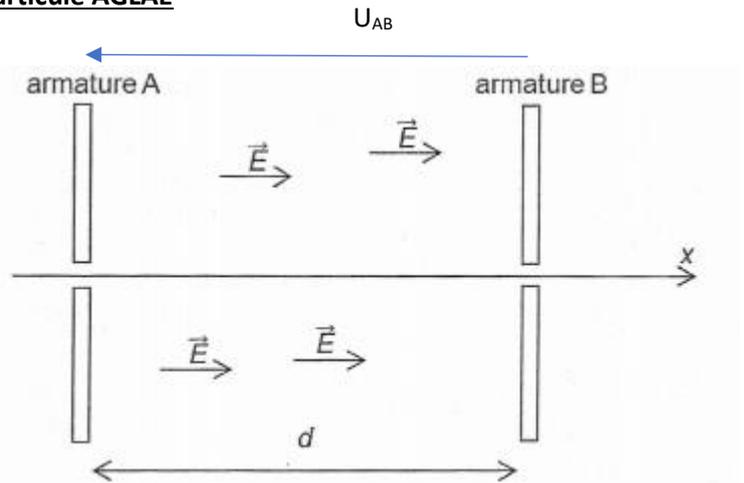
domaine de longueurs d'onde des rayons X : de 10^{-11} à 10^{-8} m.

Document 2 : Principe simplifié de l'accélérateur à particule AGLAE

Dans l'accélérateur AGLAE, une tension électrique $U_{AB} = 2 \text{ MV}$ est appliquée entre deux armatures A et B séparées par une distance $d = 4 \text{ m}$. Cette tension génère un champ électrique \vec{E} uniforme de valeur

$$E = \frac{U_{AB}}{d}.$$

Lorsque des protons pénètrent (à vitesse pratiquement nulle) dans ce champ, ils sont soumis à la force électrique et sont accélérés.



Document 3 : La méthode PIXE

La méthode PIXE (*Particle Induced X-ray Emission* ou émission de rayons X induite par des particules chargées) est la principale méthode utilisée pour étudier la composition des matériaux. Lorsqu'un proton du faisceau d'AGLAE bombarde un atome de l'objet à étudier, cet atome peut passer dans un état excité et émet alors des rayons X pour libérer son excès d'énergie. Chaque élément chimique peut être identifié par des valeurs d'énergie de rayons X émis qui lui sont propres.

Pour ne pas endommager les œuvres, le faisceau de protons doit respecter certaines conditions. D'une part, l'énergie cinétique de chaque proton doit être comprise entre 1,4 et 4 MeV. D'autre part, le nombre de protons frappant la cible chaque seconde doit être adapté au matériau étudié. Ainsi, l'intensité du courant de protons ne doit pas dépasser quelques centaines de picoampères pour les matériaux fragiles tels que le papier, mais peut atteindre 50 nanoampères pour les métaux.

D'après le livre La chimie et l'art de Philippe Walter.

Document 4 : Energies d'une particule chargée

Dans un champ électrique uniforme \vec{E} , une particule de charge q possède essentiellement une énergie cinétique E_c liée au mouvement et une énergie potentielle électrique $E_{p(\text{élec})}$ liée à sa position.

$$E_{p(\text{électrique})} = q \times V$$

charge électrique (en C) potentiel électrique (en V)

► **Potentiel électrique** : grandeur physique qui caractérise un état électrique (en volt).

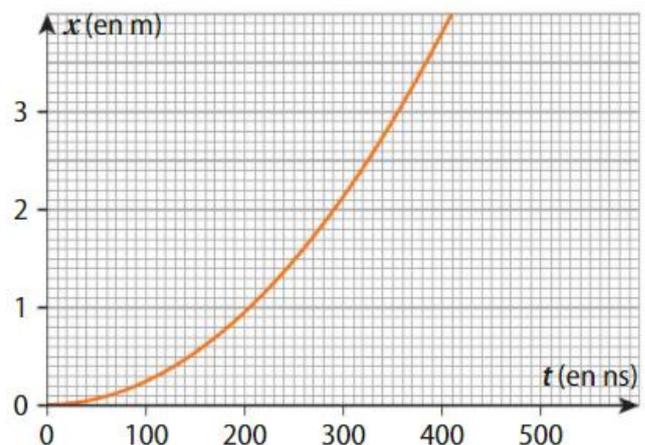
$$U_{AB} = V_A - V_B$$

ANALYSER

1. Donner l'expression de la force électrique \vec{F} s'exerçant sur un proton dans l'accélérateur et calculer sa valeur.
2. Peut-on négliger le poids du proton devant la force électrique qu'il subit dans l'accélérateur ? Justifier par un calcul.

3. Pour qu'un proton soit accéléré de l'armature A vers l'armature B, laquelle des deux armatures doit être branchée à la borne positive du générateur ?
4. On considère que le proton entre en A sans vitesse initiale, le potentiel électrique V_A sera pris égal à 0 V. Déterminer le potentiel V_B puis calculer l'énergie potentielle électrique du proton en B
5. En utilisant le théorème de l'énergie cinétique, montrer qu'une tension électrique de 2 MV permet à chaque proton d'atteindre une énergie cinétique adaptée à l'étude de la composition des matériaux pour la méthode PIXE.
6. Calculer la valeur de la vitesse atteinte par le proton à la sortie de l'accélérateur.
7. Retrouver cette valeur en utilisant l'équation horaire $x(t)$

8. Retrouver cette valeur en utilisant le graphique ci-contre



9. Évaluer l'ordre de grandeur du nombre de protons nécessaires pour l'étude d'un métal par la méthode PIXE en sachant qu'AGLAE fonctionne quelques minutes (un courant de 1 A correspond à un débit de charge de $1 \text{ C}\cdot\text{s}^{-1}$). Comparer ce nombre au nombre de protons contenus dans une mole de protons (on prendra une durée de 5 minutes).

Un homme portant une tunique est représenté sur l'une des stèles funéraires conservées au musée du Louvre. On a réalisé un spectre PIXE sur un échantillon de l'œuvre pour déterminer la composition du pigment utilisé pour peindre cette tunique.

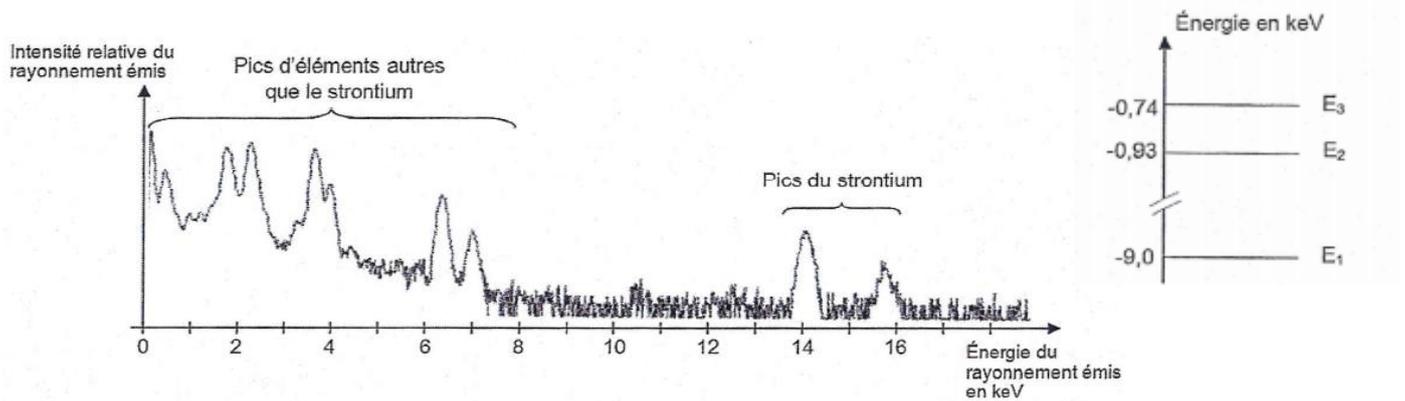


Diagramme simplifié des niveaux d'énergie de l'élément cuivre

10. Dans le cas du strontium, les rayonnements émis lors des désexcitations sont-ils bien des rayons X ? Justifier.

Rappel :

$$\Delta E = \frac{h \times c}{\lambda}$$

11. Le pigment utilisé pour peindre la tunique contient-il l'élément cuivre ? Justifier la réponse.