# Détection de particules

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Nom | muon | électron | proton | tau |
| Notation | μ | e | P | τ |
| Charge | $$-e$$ | $$-e$$ | $$+e$$ | $$-e$$ |
| Masse(GeV/c2) | $$0,11$$ | $$0,51×10^{-3}$$ | 0,94 | $$1,8$$ |

Trois particules, parmi lesquelles un électron, un proton et peut être un muon ou un tau, pénétrent dans un détecteur avec un vecteur vitesse initiale identique $\vec{v\_{0}}$. Il règne dans ce détecteur un vide poussé et un champ magnétique $\vec{B}$ orthogonal à $\vec{v\_{0}}$, dont le sens est précisé sur la figure ci-dessous.

On négligera le poids de ces particules devant la force magnétique qu’elles subissent.

On cherche à identifier chacune des particules dont on donne la trajectoire ci-dessous :

Particule 1

Particule 2

Particule 3


## Montrer que, dans ce système, le mouvement des particules est circulaire et uniforme.

## Etablir soigneusement l’expression du rayon $r$ de la trajectoire en fonction de B, mparticule , $e$ et v0.

## Attribuer le signe de chaque particule 1,2 et 3.Identifier une des particules.

## Montrer que dans un champ magnétique uniforme et à vitesse égale, les trajectoires d’un muon et d’un tau est moins incurvée que celle d’un électron.Identifier une deuxième particule.

## On mesure les rayons des trajectoires de deux particules : celui d’un électron $r\_{electron}$ et celui de la particule non identifiée $r\_{particule}$ de charge $e$.

## Le rapport des deux rayons vaut $\frac{r\_{particule}}{r\_{électron}}= $207.Identifier la troisième particule.

|  |
| --- |
| Système ={particule} dans un repère supposé galiléen :Bilan des forces $\vec{F}$ force magnétiqueDans la base de Frénet $(P, \vec{t}, \vec{n})$ :$\vec{F}\left(\begin{array}{c}0\\evB\end{array}\right)$ et $\vec{a}\left(\begin{array}{c}\frac{dv}{dt}\\\frac{v^{2}}{r}\end{array}\right)$Principe fondamental de la dynamique : $\vec{f}=m . \vec{a}$Projeté suivant $\vec{t}$ : $\frac{dv}{dt}=0$ ce qui entraine $v=cste$ le mouvement est uniforme |
| Projeté suivant $\vec{n}$ : $e.v.B=m.\frac{v^{2}}{r}$ soit $r=\frac{m.v}{e.B}$ |
| Selon la règle des trois doigts de la main droite, on peut conclure que les charges de particules 1 et 2 sont négatives et la charge de la particule 3 est positiveParmi les particules proposées, seul le proton est chargé positivement.La particule 3 est donc un proton.  |
| Pour les 3 particules, la valeur absolue de la charge est la même :Si $m\_{muon}>m\_{electron}$ alors $r\_{muon}>r\_{electron}$ conséquence : trajectoire du muon moins incurvée que celle de l’électronSi $m\_{tau}>m\_{muon}$ alors $r\_{tau}>r\_{muon}$ conséquence : trajectoire d’un tau est encore moins incurvéeLa particule 1 qui a le rayon de courbure le plus petit est donc l’électron. |
| $\frac{r\_{particule}}{r\_{électron}}=207$ implique $\frac{m\_{particule}}{m\_{électron}}=207$ soit $m\_{particule}=207×0,51×10^{-3}=0,11 GeV/c^{2}$Il s’agit d’un muon. |

# PRINCIPE DU SPECTROGRAPHE DE MASSE

Le rôle de l’appareil est de séparer les différents isotopes d’un même élément. Il faut d’abord ioniser les atomes dans une chambre. Les ions sont alors accélérés par un champ électrique puis déviés par un champ magnétique. Cette déviation est différente suivant l’isotope, ce qui permet de les séparer. Après séparation, les particules sont collectées. Un comptage électronique des impacts  permet  d’en déduire les proportions relatives de chaque isotope dans un échantillon donné.

A l’aide du spectrographe de masse schématisé par la figure, on cherche à séparer les ions $$ et $$  de même charge $q$ et de masses respectives $m\_{1}$ et $m\_{2}$. En O, la vitesse des ions est pratiquement nulle ; ils sont accélérés par la tension $U=V\_{P}-V\_{P'}$ appliquée entre les plaques P1 et P2. Ils pénètrent ensuite en O’, dans un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan de la figure.

$$\vec{v}$$

Chambre d’ionisation

$$

$$$$

Chambre d’accélération

Chambre de déviation

Zone de réception

$$P$$

$$P'$$

$$O$$

$$O'$$

## Indiquer le sens du champ magnétique qui permet la déviation des ions. Justifier.

## Indiquer le signe de la tension $U$ pour que les ions soient bien accélérés.

## Exprimer littéralement les vitesses $v\_{1}$ et $v\_{2}$ des deux ions en O2 en [fonction](http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod/glossary/showentry.php?eid=73&displayformat=dictionary) de $U$, $e$ et de leurs masses respectives $m\_{1}$ et $m\_{2}$.

## Dans le champ magnétique $\vec{B}$, on admet que les ions sont animés d’un mouvement circulaire uniforme. Exprimer littéralement les rayons $R\_{1}$ et $R\_{2}$ de leurs trajectoires en [fonction](http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod/glossary/showentry.php?eid=73&displayformat=dictionary) de $U$, $e$, $B$ et de leurs masses respectives $m\_{1}$ et $m\_{2}$.Indiquer les points d’impacts respectifs de ces particules.

## Les deux ions sont collectés en $C\_{1}$ et $C\_{2}$. Calculer la distance $C\_{1}C\_{2}$.

On donne :  $e=1,6×10^{-19}C$        $U = 1,0×10^{4} V$  $B = 0,20 T$

 $m\_{1} = 6 u$     et $m\_{2}  = 7 u$ $1u=1,67×10^{-27}kg$

|  |
| --- |
| $$\vec{v}$$$$\vec{F\_{m}}$$$$\vec{B}$$$$q>0$$Chambre d’ionisation$$ $$$$Chambre d’accélérationChambre de déviationZone de réception$$C\_{1}$$$$C\_{2}$$$$P\_{1}$$$$P\_{2}$$$$\vec{E}$$$$\vec{F\_{e}}$$ |
| La froce électrique subie par les ions doit être orientée vers la droite.Le champ $\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q} $l’est également, puisque $q>0$. ($q=+e$)Or le champ électrique descend les potentiels donc $V\_{P}>V\_{P'}$ et donc $U=V\_{P}-V\_{P'}>0$ |
| On utilise la conservation de l’énergie : $E=Cste$ implique $ΔEc=-ΔEp$Avec $ΔEp=Ep\_{O^{'}}-Ep\_{O}=e⋅V\_{P'}-e⋅V\_{P}=-e⋅U$et $ΔEc=\frac{1}{2}mv\_{O'}^{2}-\frac{1}{2}mv\_{O}^{2}=\frac{1}{2}mv\_{O'}^{2}$On arrive donc à $\frac{1}{2}mv\_{O^{'}}^{2}=e⋅U$ d’où $v\_{O^{'}}=\sqrt{\frac{2eU}{m}}$$v\_{1}=\sqrt{\frac{2eU}{m\_{1}}}$ et $v\_{2}=\sqrt{\frac{2eU}{m\_{2}}}$ |
| Système ={particule} dans un repère supposé galiléen :Bilan des forces $\vec{F}$ force magnétiqueDans la base de Frénet $(P, \vec{t}, \vec{n})$ :$\vec{F}\left(\begin{array}{c}0\\evB\end{array}\right)$ et $\vec{a}\left(\begin{array}{c}\frac{dv}{dt}\\\frac{v^{2}}{r}\end{array}\right)$Principe fondamental de la dynamique : $\vec{f}=m . \vec{a}$Projeté suivant $\vec{n}$ : $e.v.B=m.\frac{v^{2}}{r}$ soit $r=\frac{m.v}{e.B}$ ou encore $r=\sqrt{\left(\frac{m^{2}}{e^{2}B^{2}}⋅\frac{2eU}{m}\right)}=\sqrt{\frac{2mU}{eB^{2}}}$D’où $r\_{1}=\sqrt{\frac{2m\_{1}U}{eB^{2}}}$ et $r\_{2}=\sqrt{\frac{2m\_{2}U}{eB^{2}}}$$$ arrive en $C\_{1}$ $$ arrive en $C\_{2}$ car $m\_{1}<m\_{2}$ donc $r\_{1}<r\_{2}$ |
| $C\_{1}C\_{2}=2r\_{2}-2r\_{1}=2⋅\left(r\_{2}-r\_{1}\right)=2×\sqrt{\frac{2U}{eB^{2}}}⋅\left(\sqrt{m\_{2}}-\sqrt{m\_{1}}\right)=\sqrt{\frac{8U}{eB^{2}}}$ $⋅\left(\sqrt{m\_{2}}-\sqrt{m\_{1}}\right)$A.N. $C\_{1}C\_{2}=\sqrt{\frac{8×1,0×10^{4}}{1,6×10^{-19}×0,20^{2}}}×\left(\sqrt{7×1,67×10^{-27}}-\sqrt{6×1,67×10^{-27}}\right)=0,028 m=28 mm$ |

# Principe de fonctionnement du cyclotron

Un cyclotron est constitué par deux demi-boites cylindriques $D$ et $D'$ appelés « dees » à l'intérieur desquelles on établit un champ magnétique $\vec{B}$ . Dans l'espace $d$ compris entre les deux demi-boites, on établit une tension $u$ alternative qui génère un champ électrique variable dans cavité entre les dees. Des ions positifs de charge $q$, de masse $m$ sont injectés en O avec une vitesse négligeable.

Le but d’un tel dispositif est d’accélérer une particule pour la diriger vers une cible en lui conférant une trajectoire spiralaire. Au cours du choc entre la particule et la cible l’énergie mise en jeu génère de nouvelles particules (selon l’équivalence masse – énergie d’Einstein).

## Légender le schéma ci-dessous en vous appuyant sur le texte introductif de l’exercice

## Ts cours Physique



$$\vec{F}$$

$$\vec{v}$$

$$\vec{B}$$

$$q>0$$

## Représenter au point A de la trajectoire de l’ion injecté dans le cyclotron, le vecteur vitesse $\vec{v}$ de l’ion et la force magnétique $\vec{F\_{m}}$ qui s’exerce sur cet ion. Représenter le champ magnétique $\vec{B}$ , dans l’hypothèse où la charge q de l’ion est positive.

## Montrer que l’action du champ $\vec{B}$ ne permet pas d’accroître l’énergie cinétique de l’ion.La force de Lorentz s’exerçant sur la particule est constamment perpendiculaire à la trajectoire (et donc au vecteur vitesse $\vec{v}$).Le travail de cette force est donc nul : $W\_{\vec{F\_{m}}}=0$En appliquant le théorème de l’énergie cinétique $ΔEc=W\_{\vec{F\_{m}}}=0$, on constate que l’énergie cinétique ne varie pas et donc la vitesse ne varie pas non plus.

## Démontrer que dans un « D », dans l’hypothèse où le champ magnétique est uniforme et constant, le mouvement de l’ion est circulaire uniforme et exprimer le rayon de la trajectoire en fonction de $m$ (masse de l’ion), $v$ (module de la vitesse de l’ion), $q>0$ et $B$.

Bilan des forces $\vec{F}$ : force magnétique de Lorentz

Dans la base de Frénet $(A, \vec{t}, \vec{n})$ :

$\vec{F}\left(\begin{array}{c}0\\qvB\end{array}\right)$ et $\vec{a}\left(\begin{array}{c}\frac{dv}{dt}\\\frac{v^{2}}{r}\end{array}\right)$

Principe fondamental de la dynamique : $\vec{F\_{m}}=m . \vec{a}$

Projeté suivant $\vec{t}$ : $\frac{dv}{dt}=0$ ce qui entraine $v=cste$ le mouvement est uniforme

Projeté suivant $\vec{n}$ : $q.v.B=m.\frac{v^{2}}{r}$ soit $r=\frac{m.v}{q.B}$

## Montrer que la durée de passage dans un D, notée $t\_{D}$ , ne dépend pas de $v$. En déduire la fréquence de la tension $u$ pour obtenir une accélération de l’ion à chaque passage dans l’intervalle entre les deux « D » $t\_{p}=\frac{demi périmètre}{v}=\frac{π.r}{v}=\frac{π}{v}×\frac{m.v}{q.B}=\frac{π.m}{q.B}$ La durée de passage ne dépend pas de la vitesse. Elle est la même dans chaque D et pour tous les cycles.La période de la tension doit être $T=2t\_{p}$La fréquence de la tension est donc : $f=\frac{1}{T}=\frac{q⋅B}{2πm}$

## Déterminer, en fonction de $q$ et $u$ les expressions des variations de l’énergie cinétique de l’ion lors de la traversée de l’espace entre les deux « $D$ ».Entre les D, la particule est soumise à un champ électrique $\vec{E}$ ce qui génère une force électrique $\vec{F\_{e}}$.Le travail de cette force s’exprime de façon suivante : $W\_{\vec{F\_{e}}}=\vec{F\_{e}}⋅\vec{d}$ Or $\vec{F\_{e}}=q⋅\vec{E}$ donc $W\_{\vec{F\_{e}}}=q⋅\vec{E}⋅\vec{d}$ Par ailleurs, $\vec{E}⋅\vec{d}=u$

##  On en déduit donc que $W\_{\vec{F\_{e}}}=q⋅u$

## En appliquant le théorème de l’énergie cinétique à la particule : $ΔEc=W\_{\vec{F\_{e}}}$On arrive à $ΔEc=q⋅u$

## Un ion est injecté dans la zone d’accélération avec une vitesse nulle. Exprimer sa vitesse $v\_{1}$ au moment de la pénétration dans le premier « D » et le rayon $R\_{1}$ de la première trajectoire semi-circulaire.$Ec\_{1}-Ec\_{0}=q⋅u$ d’où $Ec\_{1}=q⋅u$Or $Ec\_{1}=\frac{1}{2}m⋅v\_{1}^{2}$D’où $v\_{1}=\sqrt{\frac{2 q⋅u}{m}}$$R\_{1}=\frac{m.v\_{1}}{q.B}=\sqrt{\frac{2 q⋅u⋅m^{2}}{m⋅q^{2}⋅B^{2}}}=\sqrt{\frac{2 u⋅m}{q⋅B^{2}}}$

## Après chaque passage dans l’intervalle entre les deux « D », la vitesse de la particule ainsi que le rayon $R$ de sa trajectoire dans un « D » augmentent. Exprimer l’énergie cinétique $Ec\_{k}$, la vitesse $v\_{k}$ et le rayon $R\_{k}$ en fonction de $k$, le nombre de de mi-tour.

## Après $k$ demi-tours, le théorème de l’énergie cinétique annonce : $Ec\_{k}-Ec\_{0}=k⋅q⋅u$

## Or $Ec\_{0}=0$ d’où $Ec\_{k}=k⋅q⋅u$il en découle : $v\_{k}=\sqrt{\frac{2⋅k q⋅u}{m}}=\sqrt{k}⋅v\_{1}$

## Et pour le rayon : $R\_{k}=\frac{m.v\_{k}}{q.B}=\sqrt{k}⋅\frac{m.v\_{1}}{q.B}=\sqrt{\frac{2⋅k u⋅m}{q⋅B^{2}}}$

## Exprimer le nombre maximal $k\_{max}$ de demi-tours que peut faire un ion pour un $D$ de rayon $R\_{D}$. En déduire une expression de son énergie $Ec\_{f}$ à la sortie du cyclotron en fonction de $R\_{D}$.$R\_{D}=\sqrt{\frac{2⋅k\_{max}⋅ u⋅m}{q⋅B^{2}}}$ soit $R\_{D}^{2}=\frac{2⋅k\_{max}⋅ u⋅m}{q⋅B^{2}}$ d’où $k\_{max}=\frac{q⋅B^{2}⋅R\_{D}^{2}}{2u⋅m}$$Ec\_{f}=k\_{max}⋅q⋅u=\frac{q^{2}⋅B^{2}⋅R\_{D}^{2}}{2m}$

## Des ions $Zn^{11+}$de masse $m=1,06×10^{-25} kg$ sont accélérés dans un cyclotron de rayon est $R\_{D}=46,5 cm$. Le champ magnétique produit pour les dévier a une intensité $B=1,67 T$. Calculer en J puis en eV l’énergie acquise par particules au moment d’atteindre leurs cibles.On rappelle que :$e=1,6×10^{-19} C$ $1 eV=1,6×10^{-19}J$ $Ec\_{f}=\frac{\left(11×1,6×10^{-19}\right)^{2}×1,67^{2}×0,465^{2}}{2×1,06×10^{-25}}=8,8×10^{-12} J=5,5×10^{7}eV≈55 MeV$

Vérifier que la vitesse de ces particules n’est pas relativiste (au moins 10 fois inférieure à la vitesse de la lumière).
$v\_{f}=\sqrt{\frac{2Ec\_{f}}{m}}$ A.N. $v\_{f}=1,29×10^{7} m.s^{-1}$
$\frac{c}{v\_{f}}=23$
Les particules sont non relativistes.