

Mouvement d'une particule soumise à une force radiale

A4 Force de gravitation corps célestes

15) Champ gravitationnel: Lorsqu'on double d'altitude d'un satellite terrestre, le champ gravitationnel qu'il subit diminue de moitié. Calculez les deux altitudes en question ainsi que la valeur du champ gravitationnel qui y règne.

($4,50 \cdot 10^3$ km ; 3,37 N/kg)

($9,01 \cdot 10^3$ km ; 1,69 N/kg)

16) Satellites

Il n'y a pas d'atmosphère sur la Lune ; aussi, pour se déplacer sur de grandes distances, est-il impossible de prendre l'avion ! On envisage donc de satelliser un véhicule sur une orbite circulaire très basse à une altitude de $z = 2,5$ km (la trajectoire prévue ne rencontre pas de montagne). Sachant que le rayon lunaire vaut 1737 km et que la masse de la Lune vaut $1/81^{\text{ème}}$ de la masse de la Terre, déterminer

- la valeur du champ gravitationnel à la surface de la Lune,
- la vitesse et la période de révolution que doit avoir le véhicule sur son orbite très basse par rapport à un repère « lunocentrique » (sélénocentrique)

1,62 N/kg ; 1,68 km/s ; 1h49min

17) Masse du Soleil : Le repère de Copernic est défini de la façon suivante : l'origine correspond au centre d'inertie S du Soleil et trois axes sont dirigés vers trois étoiles fixes (donc très éloignées). Dans ce repère, la Terre est assimilable à un point, décrivant (en première approximation) une orbite circulaire, de centre S, de rayon $r = 1,498 \cdot 10^{11}$ m et de période de révolution de 365,25 d.

- Donner l'expression de la force d'interaction gravitationnelle exercée par le Soleil sur la Terre.
- Exprimer la vitesse v et la période T de révolution de la Terre en fonction de r , de la constante de gravitation universelle K et de la masse M_s du Soleil.
- En déduire la masse M_s du Soleil.

($1,998 \cdot 10^{30}$ kg)

18) Masse de Saturne. La planète Saturne est entourée de nombreux anneaux et satellites. Voici quelques données relatives à cette planète et à ses satellites :

Satellites	Période de révolution	Rayon de l'orbite (milliers de km)
Saturne	29 y 167 d	1427 000
Janus	16 h 40 min	151,5
Mimas	22 h 37 min	185,8
Encelade	1 d 8 h 53 min	238,3
Téthys	1 d 21 h 18 min	294,9
Dioné	2 d 17 h 41 min	377,9

Les anneaux sont formés de divers éléments (cailloux, poussières et blocs de glace) non regroupés entre eux et tournant autour de Saturne. On considère que les astres sont ponctuels, que les trajectoires sont circulaires et que le mouvement est uniforme.

- Pour étudier le mouvement des satellites de Saturne, il convient de se placer dans un référentiel particulier que l'on peut appeler « saturnocentrique » par analogie à « géocentrique ». Comment définir le référentiel « saturnocentrique » ?
- À partir du bilan des forces exercées sur un satellite par Saturne (on néglige l'action des autres astres), établir la relation qui lie la vitesse v du satellite, le rayon r de son orbite, la masse M_s de Saturne et la constante K de gravitation universelle.
- Énoncer la troisième loi de Kepler. Déterminer à partir du résultat de la question précédente, l'expression de cette loi en fonction de M_s et de K
- En utilisant les données relatives à l'un des satellites, déduire la masse de Saturne.
(Pour Dioné : $5,71 \cdot 10^{26}$ kg)
- On néglige l'action des éléments les uns sur les autres devant l'action de l'astre sur chacun des éléments. A et B étant deux éléments de deux anneaux différents initialement alignés avec le centre de Saturne, cet alignement sera-t-il conservé ? Justifier la réponse.

19*) Le satellite ASTRA-1K devait être placé par une fusée en une orbite géostationnaire. A cause d'une erreur de fonctionnement de la fusée "Proton", le satellite a été lâché à une altitude de 200km seulement.

- Donner les propriétés et calculer l'altitude d'un satellite géostationnaire.
- Calculer la période de rotation et la vitesse orbitale actuelle.
- A cause des frottements qui ne sont plus négligeable à cette hauteur, le satellite va perdre peu à peu en altitude. Est-ce que sa vitesse va alors augmenter ou diminuer?

A5 Force magnétique sur particules

20) Champs électrique et magnétique : Une particule chargée négativement de poids négligeable pénètre avec une vitesse v_0 dans différents champs qui peuvent être électrique ou magnétique. Indiquez, selon le mouvement ultérieur de la particule, de quel type de champ il s'agit: Dès qu'elle entre dans le champ :

- a) la particule décrit un mouvement rectiligne uniforme,
- b) la particule décrit un mouvement rectiligne uniformément retardé,
- c) la particule décrit un mouvement circulaire uniforme,
- d) la particule décrit un mouvement parabolique.

Faites dans les quatre cas un croquis où vous représentez la trajectoire de la particule, la force qu'elle subit et le vecteur-champ en question. Motivez votre choix!

21) Un électron est envoyé avec une vitesse v_0 horizontale de norme $2 \cdot 10^7$ m/s dirigée vers la droite dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme B de norme 10 mT, perpendiculaire au vecteur vitesse.

- a) Faites une figure et précisez le sens de B pour que l'électron soit dévié vers le bas.
- b) Donnez les caractéristiques de la force qu'il subit dans la base curviligne et calculez sa norme.
($f = 3,20 \cdot 10^{-14}$ N $\approx 10^{15} \cdot P$)
- c) Calculez le rayon de la trajectoire et de la durée nécessaire pour parcourir un tour complet.
($R = 1,14$ cm, $T = 3,57$ ns)
- d) On double la vitesse initiale. Comment varient le rayon et la période? Motivez ! ($R' = 2R$; $T' = T$)
- e) Qu'est-ce qui change, lorsqu'on envoie la particule avec une vitesse initiale identique, mais parallèle au champ magnétique? Motivez !

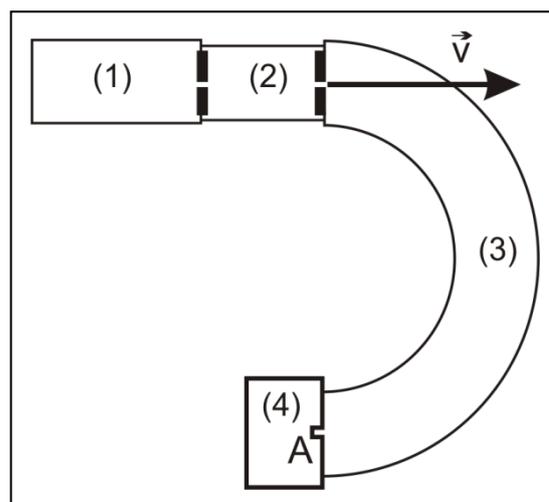
22) Des particules α pénètrent à la vitesse $v_0 = 10^3$ km/s horizontale dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme B vertical vers le haut. On néglige leur poids !

- a) Faites une figure soignée où vous indiquez v_0 , B et la force de Lorentz.
- b) Déterminez les caractéristiques de B pour que les particules α décrivent un demi-cercle de rayon 20 cm.
($B = 104$ mT)
- c) Les particules α ont été accélérées sous une tension U qu'on vous demande de calculer
($U = 10,4$ kV)

23) Le spectrographe de masse

Voici le schéma d'un spectrographe de masse :

1. Précisez la nature des différents constituants de ce dispositif et rappelez son utilité.
2. Quelle est la nature du mouvement de particules chargées dans chacune des chambres?
3. Application: Des ions $^{35}\text{Cl}^-$ sont accélérés sous une tension de 500 V. (On néglige le poids devant les autres forces qui interviennent).

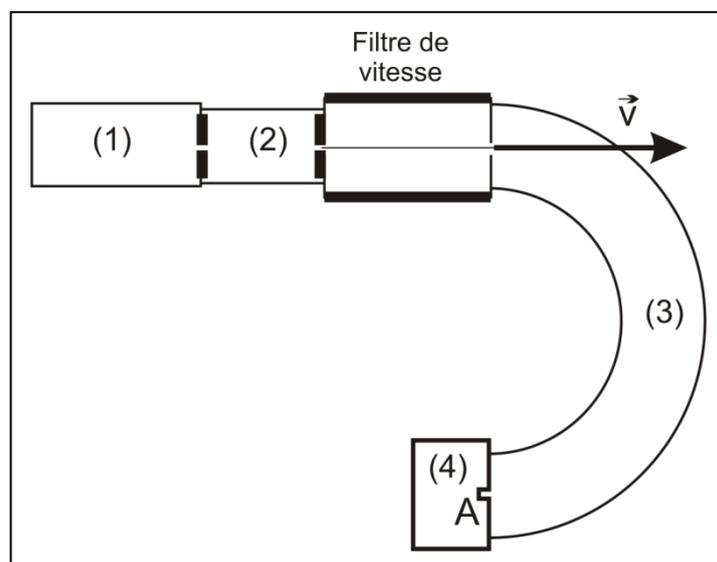


- a. Déterminez les caractéristiques (direction, sens, norme) du champ magnétique B qui doit régner dans la cavité hémicylindrique pour que les ions viennent frapper le détecteur en A à 40 cm de l'endroit où ils pénètrent dans la chambre. ($B=95,2\text{mT}$)
- b. Etablissez une relation entre le rayon de la trajectoire des ions et la tension accélératrice. Déduisez-en à quelle distance de A se trouve le lieu d'impact d'ions $^{37}\text{Cl}^-$ accélérés sous la même tension ? ($d=1,13\text{cm}$)

On donne : masse d'un ion $^{35}\text{Cl}^-$: 34,968 u masse d'un ion $^{37}\text{Cl}^-$: 36,965 u

24) Filtre de vitesse

On intercale entre (2) et (3) du spectrographe de masse un filtre (appelé filtre de vitesse ou filtre de Wien) tel que, pour un type d'ions donné, uniquement les particules ayant la même vitesse \vec{v} pénètrent dans la chambre (3). A l'intérieur du filtre règne un champ magnétique \vec{B} et un champ électrique \vec{E} dont les effets se compensent pour les particules ayant la vitesse \vec{v} (c.-à-d. que leur mouvement est rectiligne et uniforme à travers le filtre).



Sachant que l'intensité du champ magnétique \vec{B} est 150 mT, déterminez les caractéristiques (direction, sens et norme) du champ électrique \vec{E} qu'il faut superposer à \vec{B} pour que toutes les particules arrivent dans la chambre (3) avec la même vitesse de $5,25 \cdot 10^5$ m/s.

$$(E = 78,8 \text{ kV/m})$$

25) Cyclotron

Le cyclotron est constitué de deux dés (dees) où règne un champ magnétique uniforme.

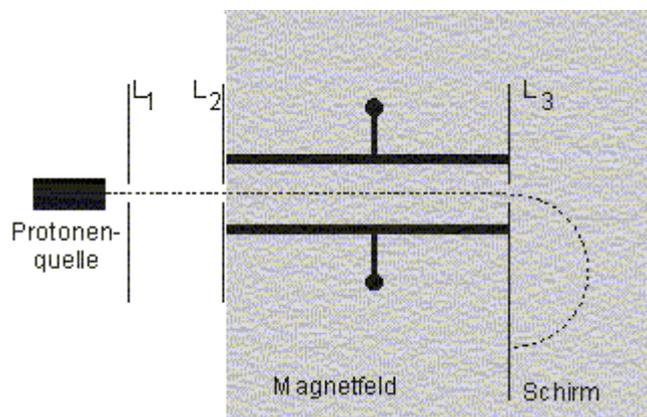
1. Représentez et décrivez brièvement son principe de fonctionnement.
2. Un proton pénètre dans un dé avec une vitesse initiale de $2 \cdot 10^7$ m/s.
 - a. Déterminez les caractéristiques du champ magnétique qui doit régner dans les dés pour que le proton effectue un mouvement circulaire de rayon 2 m (au cours du premier demi-tour).
 - b. Quelle doit être la tension régnant entre les dés, si on veut que le rayon du mouvement du proton soit augmenté de 5 % au bout du premier demi-tour (gardez 4 chiffres significatifs !), sachant que le champ magnétique a une norme de 100 mT. La tension entre les dés garde-t-elle toujours le même signe ? Expliquez !

(2a : $B = 104$ mT ; 2b: $U = 214$ kV)

26) Protons *

Une source de protons émet des protons $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C qui sont accélérés de L_1 vers L_2 et traversent le trou en L_2 avec des vitesses variables.

Toute la région à droite du diaphragme L_2 baigne dans un champ B uniforme de 150 mT. Entre les diaphragmes L_2 et L_3 il règne en plus un champ électrique E créé par un condensateur. Derrière L_3 on n'a plus que le champ magnétique.



- a) Expliquer pourquoi la présence simultanée de E et de B permet aux protons qui ont une certaine vitesse de passer en ligne droite de L_2 vers L_3 . Indiquer l'orientation des vecteurs \vec{E} et \vec{B} sur le schéma.
- b) La vitesse des protons qui passent en ligne droite vaut $5,25 \cdot 10^5$ m/s. Calculer l'intensité du champ E dans le condensateur et la distance d entre le trou L_3 et le point d'impact sur l'écran. ($E = 78,8$ kV/m)

Expérience : Filtre de Vitesse

$U_{acc} = 2000$ V $d = 0,06$ m $U_{dev} = 1600$ V $N = 320$ $R = 0,07$ m **mesurer $I = \dots\dots\dots$ A tel que le mouvement des électrons est rectiligne.**

Calculer v_1 d'après TEC

Calculer B dans la bobine de Helmholtz : $B = 9 \cdot 10^7 \cdot \frac{I \cdot N}{R} = \dots\dots\dots$ T

Déduire $v_2 = E/B$

Rem : E' réel est plus faible à cause de l'effet de bord entre les plaques de déviation.

19)

$$T_{\text{terre}} = 86164 \text{ s}$$

$$R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$a) \quad T_{\text{sat}}^2 = T_{\text{terre}}^2$$

$$4\pi^2 \frac{r^3}{K \cdot M} = T_{\text{terre}}^2$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{K \cdot M \cdot T^2}{4\pi^2}} = 42,1 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$z = r - R = 35,73 \cdot 10^6 \text{ m}$$

$$b) \quad T_{200} = \sqrt{\frac{4\pi^2 (R+200 \cdot 10^3)^3}{K \cdot M}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 \cdot (6570 \cdot 10^3)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}} = 5289 \text{ s}$$

$$v = 2\pi(R+z)/T = 7804 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c) \quad v = \sqrt{\frac{K \cdot M}{r}} \quad \text{augmente si } r \text{ diminue}$$

\Rightarrow risque de brûler dans l'atmosphère

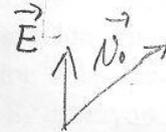
20)

$$a) \quad \vec{v}_0 \parallel \vec{B}$$

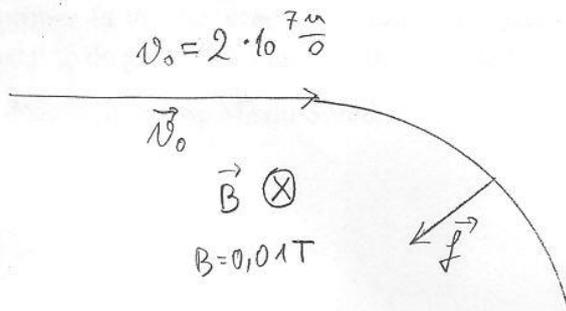
$$b) \quad \vec{v}_0 \parallel \vec{E} \text{ avec } \vec{v}_0 \text{ et } \vec{E} \text{ m\^e} \text{ sens}$$

$$c) \quad \vec{v}_0 \perp \vec{B}$$

$$d) \quad \vec{v}_0 \text{ angle } \alpha \text{ par rapport } \vec{E}$$



21)



a) \vec{f} perp. à la traj dirigée vers le centre de la traj circulaire

$$b) \quad f = qvB = 3,2 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

$$c) \quad R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B} = 0,011375 \text{ m} ; \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{q \cdot B} = 3,57 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

d) si v double, R double, T reste la même