CONCOURS GÉNÉRAL SÉNÉGALAIS

14 T CGS 05 01
Durée : 6 heures
Toutes séries réunies

SESSION 2014 **CLASSES DE TERMINALE**

SCIENCES PHYSIQUES

THEME : LES MOUVEMENTS : DU MACROSCOPIQUE AU SUBMICROSCOPIQUE.

Les sept parties que comporte l’épreuve sont indépendantes à l’exception de C et D.

TEXTE INTRODUCTIF.

Le mouvement des corps matériels a été l’objet des premières recherches en physique. C’est de l’étude du mouvement des astres, des planètes et des étoiles qu’ont été établies les lois de la mécanique classique. Ces lois ont été obtenues après un très long effort de réflexion mené au XVI^{ème} et au début du XVII^{ème} siècle par de nombreux savants parmi lesquels Galileo Galilée et Isaac Newton. Ce dernier a eu le mérite d’avoir conduit l’ouvrage à son terme. On considère que cette mécanique de Newton marque le début de la physique telle que nous la connaissons et même plus largement celui de la science moderne.

La mécanique permet d’introduire un certain nombre de concepts fondamentaux tels que l’espace, le temps, la masse et la force. En physique la notion d’espace n’étant définie que par la présence de la matière, la position d’un objet ne peut être précisée que par rapport à d’autres objets choisis comme « Référentiels ». Un référentiel, de manière générale, est constitué par un solide ou un ensemble de corps solides dont les positions sont invariables dans le temps utilisé pour repérer un objet dans l’espace.

La mécanique classique postule que le temps est absolu et indépendant du référentiel choisi. Les problèmes de la mécanique classique sont souvent traités en utilisant les lois de Newton. La description de l’état de mouvement d’un système matériel est régie par la deuxième loi de Newton traduite par l’équation $\Sigma\vec{F}ext = \frac{d\vec{p}}{dt}$

Pour un système matériel, lorsque la vitesse est très inférieure à celle de la lumière dans le vide, cette loi de Newton se traduit aussi par : $\sum\vec{F}_{ext} = M\vec{a}_C$ **(théorème du centre d’inertie) et par** $\sum\vec{f} = m\vec{a}$ **pour un point matériel, dans les mêmes conditions. Cette loi introduite comme l’un des postulats fondamentaux de la mécanique classique est valable dans les référentiels galiléens.**

Pour résoudre certains problèmes de mécanique classique, il peut être plus simple d'appliquer le théorème de l'énergie cinétique ou la conservation de l'énergie totale. On peut cependant aborder tous ces problèmes par des méthodes plus générales, celles dues à Lagrange ou à Hamilton encore utilisables pour l’étude des mouvements des systèmes complexes. Bien que ces méthodes se ramènent aux lois de Newton, elles sont intéressantes à cause de la facilité relative avec laquelle elles permettent de résoudre un certain nombre de problèmes mais aussi à cause de leurs relations avec la mécanique quantique, la mécanique statistiqueé

Jusqu’à la fin du XIX^{ème} siècle, les connaissances en physique qui avaient atteint un certain degré de cohérence dans l’explication des phénomènes permettaient de distinguer les objets physiques de la matière et le rayonnement.

La matière est faite de particules assimilables à des points matériels doués d’une masse auxquels s’appliquent les lois de la mécanique. Le rayonnement est constitué par des ondes électromagnétiques.

Les phénomènes tels que la diffraction, la réfraction, les interférences, connus à l’époque, étaient parfaitement expliqués par la théorie ondulatoire. Cependant plusieurs indices inquiétants n’avaient pas échappé à quelques esprits pénétrants :

- en 1900, le physicien Max Planck, analysant le rayonnement émis par les objets chauds, émit l’hypothèse que le transport d’énergie lumineuse n’est pas continu comme le cas de la propagation des ondes mais s’opère en grains ou quanta (indivisibles) d’énergie E = hν ; h étant la constante de Planck et ν la fréquence de la lumière.

- en 1905, Albert Einstein posa les bases de la mécanique relativiste pour laquelle les événements se déroulent suivant un temps propre et non pas universel (le temps n’est plus absolu, il dépend du référentiel choisi). Les mouvements rencontrés dans la vie courante (c’est - à- dire concernant les objets macroscopiques) dont les vitesses restent très inférieures à celle de la lumière ($v \leq 0{,}1c$) sont décrits à l’aide des lois de Newton. Mais la mécanique newtonienne ne s’applique pas aux mouvements des particules animées d’une très grande vitesse proche de celle de la lumière. C’est plutôt la mécanique relativiste, plus générale, qui est adaptée à l’étude de tels mouvements.

L’hypothèse des quanta de Max Planck a permis à Einstein de donner une interprétation de l’effet photo électrique, fournissant ainsi une preuve directe du caractère corpusculaire (quantique) du rayonnement. C’est le début de la mécanique quantique, une théorie s’appliquant à la description de la matière aux niveaux atomique et subatomique (nucléaire) et aussi à l’univers (astrophysique).

PARTIE A : *QUESTIONS SUR LE TEXTE* (05 points)

Lire attentivement le texte ci-dessus puis répondre aux questions suivantes.

A-1 Citer deux physiciens qui ont beaucoup contribué à l’élaboration des lois de la mécanique classique.
A-2 Définir un référentiel.
A-3 Citer deux autres formalismes différents des lois de Newton utilisés en mécanique classique pour l’étude des mouvements à l’échelle macroscopique.
A-4 Enoncer l’hypothèse des quanta de Planck.
A-5 Préciser le domaine d’application de la mécanique newtonienne et celui de la mécanique relativiste.

é /é 2

Durée : 6 heures
Toutes séries réunies

CLASSES DE TERMINALE

***PARTIE B: La chute sans fin de la lune, à la découverte de la force de gravitation* (08 points).**

« En raison du principe de l'inertie (tout corps en mouvement non soumis à une force va en ligne droite) la lune sur sa trajectoire aurait dû aller de (A) à (a') [figure 1]. En fait, elle tourne autour de la Terre et vient en (a). La géniale découverte de Newton, c'est d'avoir vu qu'en réalité, elle est tombée vers la Terre de (a') en (a), puis de (b') en (b) et ainsi de suite sans cesse comme une pomme tombe d'un pommier. Elle est maintenue en cercle grâce à la force centrifuge qui équilibre la force d'attraction de la Terre et cette force d'attraction s'exerce entre tous les corps de l'univers ; c'est l'attraction gravifique universelle ».
Ce texte est extrait d'un article de la revue « Science et Vie».

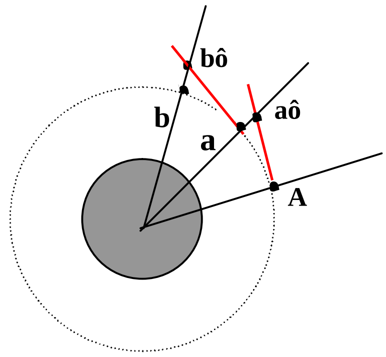


Figure 1

B-1 Enoncer le principe de l'inertie sous une forme moins simpliste que celle du texte. Peut-on considérer la lune comme un système isolé ? Pourquoi ?
B-2 Qu'est qu'une force centrifuge ? La lune dans son mouvement autour de la Terre est-elle soumise à une force centrifuge ? Expliquer.
B-3 Newton compare le mouvement de la lune à celui d'une pomme qui tombe.
Y a-t-il des similitudes entre ces deux mouvements ?
B-4 De quel angle la lune tourne-t-elle autour de la Terre en 1 min ? De quelle hauteur la lune « tombe-t-elle » en 1 min ?
B-5 De quelle hauteur tomberait en 1 min un objet lâché sans vitesse initiale à $3{,}8.10^{5}$ km de la Terre ? L'intensité du champ de gravitation terrestre à ce niveau vaut $2{,}7.10^{-3}$ $N.kg^{-1}$. Conclure.
On prendra : distance entre le centre de la Terre et celui de la lune $d = 3{,}8.10^{5}$ km.
B-6 Donner un exemple de situation de vie permettant d'illustrer la notion de force centrifuge.

PARTIE C : Comment « peser » la Terre alors qu'on a les pieds dessus ? (09 points).

Dans ce qui suit, il s'agit de montrer qu'on peut y arriver en « regardant » la lune (méthode de Newton).
La Terre possède un seul satellite naturel : la lune. De nombreux satellites artificiels sont par ailleurs placés en orbite autour de la Terre, dans des buts déterminés.
D'autres planètes telles que Mars et Jupiter possèdent aussi des satellites naturels.
C-1 On étudie le mouvement d'un satellite S de masse m, qui tourne autour d'une planète P de masse M, sous la seule action de la force de gravitation exercée par cette planète. Le mouvement de S est étudié dans un référentiel centré sur la planète, référentiel supposé galiléen.
La planète P est considérée comme un corps à répartition sphérique de masse. Le satellite est supposé ponctuel. On désigne par r le rayon de l'orbite supposée circulaire décrit par S (distance joignant S au centre de P).

C-1-1 Donner l'expression vectorielle de la force de gravitation que subit S en précisant le nom et l'unité de chacune des grandeurs qui interviennent.
Représenter sur un schéma P, S et le vecteur-accélération de S.
C-1-2 Le mouvement de S est uniforme. En déduire l'expression de la norme du vecteur-accélération de S en fonction de sa vitesse v et du rayon r de la trajectoire.
C-1-3 Appliquer la deuxième loi de Newton au satellite et en déduire l'expression de sa vitesse de révolution v autour de la planète en fonction de M, de r et de la constante de gravitation G.
C-1-4 Déterminer l'expression reliant v, r et la période de révolution T de S autour de la planète. Exprimer T en fonction de G, M et r.

C-2 La période orbitale de la lune autour de la Terre vaut $\mathbf{T_l}$ = 27,3 jours = $2{,}36.10^{6}$ s et la distance entre les centres des deux astres est $\mathbf{r} = 3{,}8.10^{8}$ m. En déduire la masse M_T de la Terre.
C-3 A l'exemple de la Terre on peut déterminer la masse des planètes comme Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune qui sont entourées de satellites naturels.
Pour des planètes comme Mercure et Vénus qui n'ont pas de satellites naturels, comment procéder pour déterminer leur masse ?

***PARTIE D : Une base relais pour l'exploration de Mars !* (08 points).**

Un des grands défis de ce siècle (ou du suivant) sera d'envoyer une mission d'exploration humaine sur la planète Mars. De nombreux problèmes sont à résoudre avant de pouvoir effectuer une telle mission.
On peut imaginer une base relais (pour le matériel comme pour les communications avec la Terre) sur Phobos, un des satellites de Mars.

é /é 3

D-1 On étudie le mouvement de Phobos dans le référentiel marsocentrique supposé galiléen sous la seule action de la force de gravitation exercée par Mars. Les corps considérés sont supposés à répartition sphérique de masse. On supposera que Phobos décrit une trajectoire circulaire de rayon r autour de Mars. En s'appuyant sur les résultats établis dans la partie C et les données numériques ci-dessous, montrer que la période Tp de révolution de Phobos autour de Mars et le rayon r vérifient la relation :
$T_p^2/r^3 = 9,22\ 10^{-13}$ s^2 m^{-3}. En déduire la valeur de T_p.
Données : G = $6,67\ 10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2} ; distance entre le centre de Mars et celui de Phobos : r = $9,38.10^3$ km ; masse de Mars : $m_M = 6,42\ 10^{23}$ kg ; période de rotation propre de Mars : T_M = 24 h 37 min.
D-2 Dans quel plan faut-il placer un satellite artificiel pour qu'il soit immobile par rapport à Mars ? Justifier la réponse sans calcul.
D-3 Quelle est la période T_S de révolution d'un tel satellite ?
D-4 Apparus pour des motifs politiques, les satellites artificiels sont devenus des outils indispensables aux usages multiples. Citer trois domaines d'application des satellites artificiels.
D-5 La gravitation gouverne l'Univers à grande échelle : expliquer cette affirmation.

PARTIE E : *Et si on revenait sur Terre ?* (20 points).

E-1 : Pour « peser » la Terre…

Cette fois ci, on se propose de montrer qu'on peut « peser » la Terre en « regardant » un pendule simple (méthode de Galilée).
Un pendule simple est constitué d'un solide ponctuel de masse m suspendu en un point fixe O à l'aide d'un fil inextensible de longueur ℓ.
On écarte le pendule de sa position d'équilibre stable d'un angle $+\theta_m$ et on le lâche sans vitesse initiale (figure 2).
Le pendule est repéré à chaque instant par l'élongation angulaire θ correspondant à l'écart angulaire du fil avec la direction verticale.
On néglige les frottements.

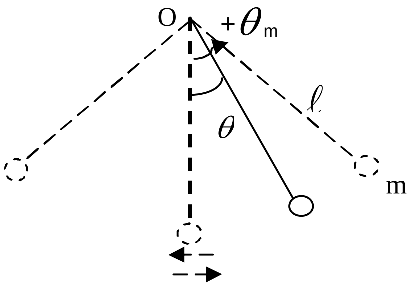


Figure 2

E-1-1 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par l'élongation angulaire θ s'écrit : $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g_0}{\ell}\sin\theta = 0$

E-1-2 L'écartement initial du pendule est faible de telle sorte qu'on puisse faire l'approximation : $\sin\theta \approx \theta$
Montrer que, dans cette condition, le pendule effectue des oscillations sinusoïdales dont on donnera l'expression de la période T en fonction de ℓ et g_0 (intensité de la pesanteur terrestre au lieu considéré).

E-1-3 La longueur du pendule simple utilisé vaut ℓ = 50 cm. La mesure de la durée de 100 oscillations successives donne 142 s. En déduire la valeur de g_0.

E-1-4 Donner l'expression du champ de gravitation terrestre au sol (que l'on assimilera à g_0) en fonction du rayon terrestre R_T, de la masse M_T de la Terre et de la constante de gravitation G.
E-1-5 En déduire la valeur de la masse M_T de la Terre. On prendra R_T = 6378 km. Comparer avec la valeur trouvée dans la partie C.

E-2 : étudier des mouvements de projectiles…

En mécanique, on nomme projectile tout objet lancé avec une vitesse initiale de valeur v_0. L'étude du mouvement des projectiles est la balistique. En athlétisme, les épreuves de lancer du poids et celui du javelot sont deux disciplines où un athlète doit lancer un projectile aussi loin que possible.
Pour le lancer du poids, le projectile est une boule de métal (le «poids») de masse m_P = 7,260 kg. Le record du monde actuel est tenu pour les hommes par Randy Barnes.
Pour le lancer du javelot, le « poids » de la discipline précédente est remplacé par une tige en métal ou en fibre (le javelot) de masse m_J = 0,80 kg. Le record du monde actuel est tenu pour les hommes par Jan Zelesny.

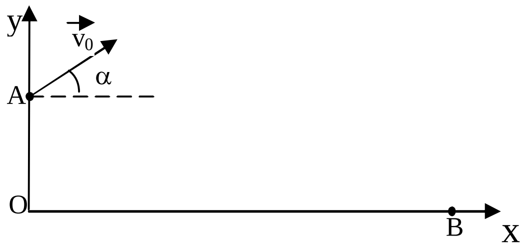


Figure 3

Dans la suite du problème, nous considérons que chaque projectile est lancé par l'athlète avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ suivant un angle α = 45° avec la direction du plan horizontal et à une hauteur h = OA = 1,80 m du sol (figure 3). On négligera l'action de l'air ; les projectiles seront supposés ponctuels.

E-2-1 Etablir l'expression littérale de la trajectoire suivie par le projectile de masse m lancé comme précisé ci-dessus et en déduire la distance entre O et le point d'impact B du projectile sur le sol en fonction de h, de la valeur v_0 de la vitesse initiale et de l'intensité de la pesanteur g du lieu.

E-2-2 Au cours d'un championnat, l'athlète R.Barnes remporta l'épreuve du lancer de poids avec un jet de 23,12 m. Le « poids » (projectile) a une masse de 7,260 kg et l'athlète J Zelesny gagna l'épreuve de lancer du javelot avec un jet de 98,48 m. Le javelot considéré comme ponctuel a une masse de 0,80 kg. On suppose que chaque trajectoire démarre à une altitude h = 1,80 m

a) Déterminer les vitesses initiales données par l'athlète R.Barnes au poids et par J .Zelesny au javelot. On prendra g = 9,8 $m.s^{-2}$

b) Comparer les quantités de mouvement données par les deux athlètes à leur projectile

E-3 ***: utiliser le formalisme de Lagrangeé***

Le postulat de Lagrange fait abstraction des principes tels que la 2^e loi de Newton et la loi de conservation de l'énergie qui ont permis d'asseoir les bases de la dynamique du point matériel.
Il stipule que le mouvement du système ou du point est déterminé par la connaissance d'une fonction L (fonction de Lagrange). Sous une forme simplifiée, ramenée dans le système de coordonnées cartésiennes et dans le cas du mouvement à une dimension, L est une fonction de la coordonnée x, de la dérivée première de cette coordonnée par rapport au temps $\dot{x}$ et du temps t ; soit $L(x,\dot{x},t)$.

$L = E_c - E_p(x)$ (Energie cinétique- Energie potentielle)

et on a : $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial L}{\partial x} = 0$ Equation de Lagrange, où ∂ est l'opération de dérivation par rapport à une des variables, les autres étant fixées.
On se propose d'utiliser la méthode de Lagrange pour l'étude du mouvement pendulaire.

E-3 -1 On considère le pendule simple de la partie (E-1). La variable x de l'équation de Lagrange correspond à θ et sa dérivée première par rapport au temps correspond à $\dot{\theta}$.

Donner l'expression du Lagrangien L en fonction de m, ℓ , g, θ et $\dot{\theta}$.

E-3-2 Retrouver l'équation différentielle régissant le mouvement de la masse ponctuelle m à partir du formalisme de Lagrange.

E - 4 ***: et le formalisme d'Hamilton !***

Tout en permettant de résoudre un certain nombre de problèmes mécaniques, le formalisme d'Hamilton est surtout utile parce qu'il fournit des postulats fondamentaux de la mécanique quantique, la mécanique statistique et la mécanique céleste.
La résolution des problèmes par ce formalisme nécessite des systèmes de coordonnées généralisées
Nous nous limiterons uniquement à l'écriture de la fonction hamiltonienne H
On définit $H = p_x\dot{x} - L(x,\dot{x},t)$; dans le cas du système de coordonnées cartésiennes et pour une dimension (p_x = quantité de mouvement).

E- 4-1 Donner l'expression de H en fonction de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle et conclure

E- 4-2 Dans le cas d'un mouvement de l'oscillateur harmonique modélisé par le système ressort-masse à une dimension disposé horizontalement, donner l'expression de H en fonction de la coordonnée x, de la dérivée première de cette coordonnée par rapport au temps $\dot{x}$, de la masse m assujettie au ressort et de la constante de raideur k du ressort.

E- 4-3 De l'expression générale de H, retrouver les relations suivantes

$$\dot{p}_x = -\frac{\partial H}{\partial x} \qquad \dot{x} = \frac{\partial H}{\partial p_x}$$

é /é 5

Durée : 6 heures
Toutes séries réunies

CLASSES DE TERMINALE

***PARTIE F** -Quand les projectiles en mouvement sont des particules chargées.* (35 points).

Cette partie traite de mouvements de particules chargées dans le référentiel du laboratoire supposé galiléen. On néglige la force de gravitation devant les forces électriques et / ou magnétiques.

F-1 Mouvement des électrons du canon d'un oscillographe – application.

Le tube d'un oscillographe électronique, dans lequel on a fait le vide, comprend un canon à électrons, deux systèmes de plaques déflectrices horizontales Y_1 et Y_2, verticales X_1 et X_2, un écran recouvert d'une substance luminescente sous l'impact des électrons (figure 4).

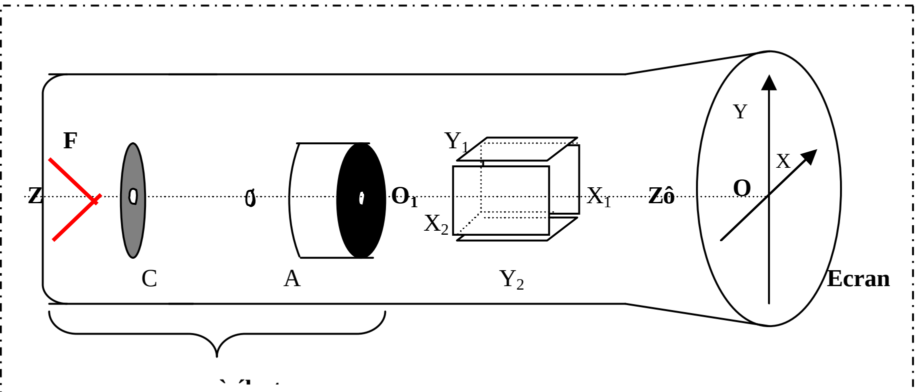


Figure 4

On appelle z'z l'axe de symétrie du tube qui est horizontal.
Les vitesses qui interviennent dans le problème sont toujours assez petites devant la vitesse de la lumière pour qu'aucune correction de relativité ne soit nécessaire. On pourra donc utiliser les lois de la mécanique classique. On ne tiendra pas compte du poids de l'électron.
On prendra: Masse de l'électron $m = 9{,}1.10^{-31}$ kg ; Charge de l'électron $- e = -1{,}6.10^{-19}$ C.

F-1-1 Etude du canon à électrons.
On admettra qu'il équivaut au système suivant : une cathode C émet des électrons sans vitesse ; ceux-ci arrivent sur l'anode A et la traversent par une petite ouverture O_1 située sur l'axe z'z.
Entre les électrodes C et A, on établit une différence de potentiel $U_0 = V_A - V_C$.
Déterminer U_0 pour que les électrons atteignent O_1 avec une vitesse v_0 =25 000 km/s.

F-1-2 Etude des plaques déflectrices.
Les plaques déflectrices sont des rectangles de longueur L parallèles à l'axe du tube : l'écartement des plaques est désigné par d ; les plaques déterminent deux parallélépipèdes dont les centres géométriques, situés sur z'z, sont notés I et I'. Le point O est le centre de l'écran circulaire sur lequel on a tracé deux axes rectangulaires OX et OY, respectivement horizontal et vertical. On pose IO = D et I'O = D'.
Entre les plaques Y_1 et Y_2, on applique une différence de potentiel $u_Y = u_{Y_1} - u_{Y_2}$; entre les plaques X_1 et X_2, on applique une différence de potentiel $u_X = u_{X_1} - u_{X_2}$
Lorsque $u_X = u_Y = 0$, on observe un spot lumineux en O.

F-1-2-1 On laisse $u_X = 0$ et l'on établit entre les plaques Y_1 et Y_2 la différence de potentiel constante positive u_Y. Il en résulte un champ électrique que l'on considère uniforme dans le parallélépipède défini par Y_1 et Y_2 et nul à l'extérieur.
Un électron pénètre dans ce champ, avec la vitesse $\vec{V}_0$ définie en F-1-1). Soit $\vec{V}$ son vecteur vitesse quand il quitte le condensateur constitué par les plaques Y_1 et Y_2.

a) Déterminer la trajectoire de l'électron dans le condensateur, puis lorsqu'il en est sorti.

b) Exprimer littéralement
- La durée ì de la traversée du champ électrique par lôélectron. De quels facteurs dépend-elle uniquement ?
- Lôangle α que le support de $\vec{V}$ fait avec lôaxe zôz.
- La position du point H, intersection de ce support avec zôz.
- Lôordonnée Y, du spot lumineux sur lôécran.
 Application numérique : calculer ì et Y, pour $u_y = 100V$; L = 5 cm ; d = 4 cm ; D = 50 cm ; v_0 =25 000 km/s .

F-1-2-2 On laisse toujours u_X nulle, mais on applique aux plaques Y_1 et Y_2 une différence de potentiel u_Y variable avec le temps ; on veut montrer que, si les variations de u_Y ne sont pas trop rapides, le calcul de la déviation Y du spot peut être fait en supposant u_Y constant pendant toute la durée du passage de lôélectron dans le champ électrique.

Supposons que u_Y soit de la forme : $u_y = 100 \sin(2\pi ft + \frac{\pi}{2})$ (u_Y en volts, t en secondes, f en hertz).

Lôélectron pénètre dans le champ à lôinstant t = 0, il en sort à lôinstant t = ì .

a) Comparer les valeurs prises par u_Y aux instants 0 et ì , pour des valeurs de f égales à 10^4, 10^3 et 10^2 Hz. Conclusion.

b) Si u_Y = 100 sin100πt, quel est le mouvement du spot sur lôécran ? Recopier la figure 5 et ébaucher là-dessus la trajectoire du spot.

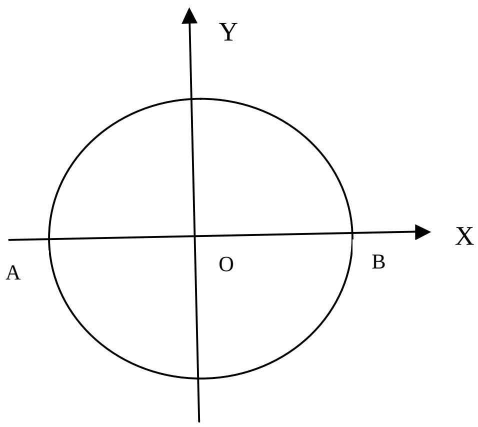


Figure 5

F-1-3 Etude du balayage horizontal

On laisse u_Y nulle et on applique entre les plaques X_1 et X_2 la différence de potentiel u_X qui sera considérée constante pendant la traversée par lôélectron du champ ainsi créé.

F-1-3-1 Calculer littéralement la déviation horizontale X_s du spot sur lôécran en fonction de e, m, v_0, Dô, L et u_X . Sachant que Dô=40 cm, exprimer numériquement X_s en fonction de u_X

F-1-3-2 On désire que le spot qui est en A à lôinstant t = 0 décrive AB avec une vitesse constante en Tô=0,04 s, puis quôil retourne très vite en A pour reprendre le mouvement précédent.

On donne AB= 10cm.

Déterminer lôéquation horaire du mouvement du spot dans lôintervalle t ‘ [0, Tô], puis lôexpression u_X = f(t). Préciser les valeurs extrêmes de u_X .

F-1- 4 Utilisation de lôoscilloscope.

Une portion de circuit MN comporte un condensateur dôimpédance Z et une résistance r très faible, négligeable devant Z (figure 6).

Entre M et N, on applique la tension : u =100sin100πt.

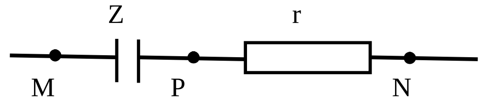


Figure 6

F-1- 4-1 u_X ayant les caractéristiques précédentes, on applique la tension u aux plaques Y_1 et Y_2.

Tracer en vraie grandeur la courbe que le spot dessine sur lôécran. (On admettra quôà lôinstant t=0 le spot est en A sur lôécran.)

F-1- 4-2 En réalité lôoscilloscope comporte deux paires de plaques horizontales Y_1Y_2 et Yô₁Yô₂ si bien que simultanément on peut appliquer la tension u aux plaques Y_1 et Y_2 et la tension uô=$V_P - V_N$ aux plaques Yô₁ et Yô₂. Dessiner ce que lôon observe sur lôécran (ce qui importe ici, ce sont les positions respectives des deux courbes obtenues et non leurs amplitudes). Justifier le tracé.

F-1- 4-3 Citer dôautres utilisations pratiques de lôoscilloscope.

é /é 7

F-2 Mouvement de particules chargées dans un champ magnétique uniforme

Des particules identiques de masse m et de charge positive q, émises sans vitesse initiale, sont accélérées entre les armatures A et A' d'un condensateur plan par une tension U. Elles pénètrent en O avec une vitesse $\vec{V}_0$ dans une région de l'espace où règne un champ magnétique uniforme de vecteur $\vec{B}$ perpendiculaire à $\vec{V}_0$ et ressortent au point S (figure 7). La largeur du champ magnétique est ℓ.

F-2-1 Donner l'expression vectorielle de la force magnétique qui s'exerce sur une particule dans le champ magnétique $\vec{B}$. Préciser le sens du vecteur champ magnétique $\vec{B}$.

F-2-2 Montrer que le mouvement des particules dans le champ magnétique est circulaire uniforme. Exprimer le rayon R de l'arc de cercle décrit dans le champ en fonction de m, V_0, q et B puis en fonction de q, m ,B et U.

F-2-3 Exprimer la déviation angulaire α des particules puis la déflexion magnétique Y sur un écran E disposé perpendiculairement à la direction de $\vec{V}_0$ et situé à la distance D du milieu du champ magnétique.

F-2-4 Citer des appareils qui utilisent la déflexion électrique et /ou magnétique et préciser leur rôle.

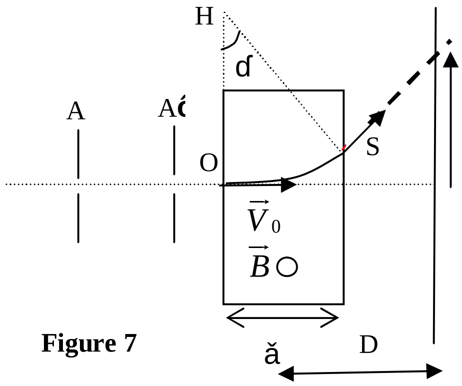


Figure 7

F-3 Mouvement de l'électron autour du noyau - quantification de l'énergie.

F-3 -1 Rutherford décrit l'atome d'hydrogène par un modèle planétaire : l'électron de masse m décrit un mouvement circulaire de rayon r autour du noyau constitué d'un proton. La force gravitationnelle sera négligée devant la force électrostatique et on considérera, pour cette première partie (F-3-1), que les lois de la mécanique classique sont applicables.

F-3 -1-1 Donner l'expression de la force électrostatique exercée par le noyau sur l'électron.

F-3 -1-2 Le mouvement est circulaire uniforme. Exprimer la vitesse V de l'électron en fonction de la constante k ($k = 1/4\pi\varepsilon_0 = 8{,}988.10^9$ SI), de sa masse m, de la charge élémentaire e et du rayon r de la trajectoire.

F-3-1- 3 Etablir l'expression de son énergie cinétique en fonction de k, e et r.

F-3-1- 4 Etablir l'expression de son énergie potentielle en fonction de k, e et r. En déduire l'expression de l'énergie totale en fonction de k, e et r puis de V.

F-3 -1-5 Différents faits expérimentaux ont conduit Bohr à formuler l'hypothèse suivante : l'électron ne peut se déplacer que sur des orbites privilégiées dont les rayons r_n obéissent à la loi :

$m.V_n.r_n = n\dfrac{h}{2\pi}$, relation où n est un entier positif, h la constante de Planck, V_n la vitesse de l'électron sur le cercle de rayon r_n et m sa masse.

a) Donner l'expression du rayon r_n en fonction de k, h, m, e et n. Calculer r_1.

b) Montrer que l'énergie totale E_n de l'électron s'exprime par : $E_n = -\dfrac{\xi_1}{n^2}$. On donnera l'expression de ξ_1 en fonction de m, k, e et h et on vérifiera que $\xi_1 = 13{,}6$ eV

c) Pourquoi parle-t-on de la quantification de l'énergie de l'atome? Calculer E_1, E_2, E_3 et E_4.

d) Faire un schéma représentatif des niveaux d'énergie de l'atome.

e) L'électron passe de l'état E_1 à l'état E_4. Quelle cause peut faire passer l'énergie de l'électron du niveau E_1 au niveau E_4 ?

f) L'électron passe du niveau E_4 à E_2. Evaluer la fréquence du photon émis.

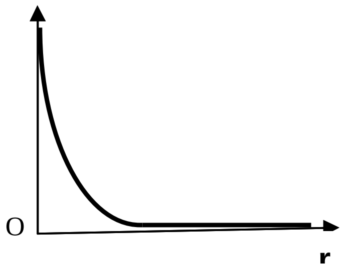
On donne : $h = 6{,}626.10^{-34}$ SI ; $k = 8{,}988.10^9$ SI ; $m = 9{,}109.10^{-31}$ kg ; 1 eV = $1{,}602.10^{-19}$ J ;
célérité de la lumière dans le vide $c = 3.10^8$ m.s^{-1}.

F-3-2 Le modèle de Bohr permet de retrouver le spectre d'émission ou d'absorption de l'atome d'hydrogène. Mais ce modèle, basé sur la mécanique classique, ne permet pas de rendre compte de tous les faits expérimentaux avec l'atome d'hydrogène, notamment les faits magnétiques.
En fait, seule la **mécanique quantique** permet de bâtir un modèle permettant de rendre fidèlement compte des observations expérimentales. Dans cette nouvelle branche de la physique l'électron de l'atome peut être assimilé à une onde. Il n'est pas parfaitement localisable dans l'espace autour du noyau

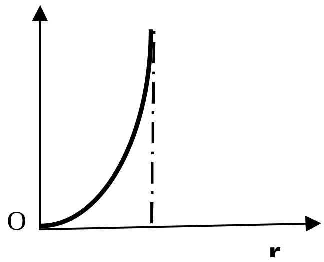
…/… 8

Cela revient à abandonner définitivement l'idée de trajectoire. On associe à l'électron une fonction d'onde qui permet de définir la probabilité de présence autour du noyau.
La probabilité P(r) de trouver l'électron de l'atome d'hydrogène à une distance r du noyau est donnée par l'expression : $P(r) = \frac{r^2}{a_0^3} e^{-2r/a_0}$, dans cette expression a_0 est une constante représentant le rayon de l'atome de Bohr pour l'hydrogène à l'état fondamental ($a_0 = r_1$ = 0,53 Å).

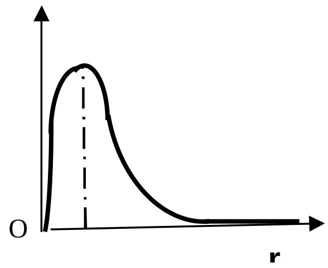
F-3-2-1 Quelle est parmi les courbes (a), (b), (c) ébauchées ci-après celle qui correspond au graphe représentatif de P(r) en fonction de r ? Justifier la réponse.



(a)



(b)



(c)

F-3-2-2 Déterminer, en fonction de a_0, la distance r où la probabilité de présence de l'électron est maximale.

G – Mouvements de particules de grande énergie – la mécanique relativiste **(15 points).**

Divers faits expérimentaux montrent que la mécanique newtonienne ne s'applique pas aux mouvements des particules animées d'une très grande vitesse proche de celle de la lumière, particules dites de grande énergie. Einstein énonça les hypothèses de la **mécanique relativiste** et conçoit la théorie de la relativité restreinte (restreinte aux repères galiléens). La mécanique relativiste est particulièrement adaptée à l'étude des mouvements des particules de grande énergie.

- L'une des hypothèses est l'invariance de la célérité de la lumière : *la célérité de la lumière dans le vide est la même dans tous les repères galiléens, c'est une constante universelle. Elle ne dépend pas de la vitesse de la source de lumière.*
  Des mesures récentes ont donné c = $2{,}997924.10^8 m.s^{-1}$; on adopte couramment c = $3.\ 10^8 m.s^{-1}$
  La vitesse de la lumière dans le vide apparaît comme une vitesse limite impossible à atteindre pour un objet matériel.
- *La masse d'une particule isolée est un scalaire invariant dans tout changement de repères galiléens.*

Si on considère une particule de masse m et de vitesse $\vec{V}$, la théorie relativiste, confirmée par de nombreuses expériences, conduit à poser de nouvelles définitions pour les grandeurs cinétiques :

*quantité de mouvement relativiste : $\vec{p} = \gamma m \vec{V}$
*énergie cinétique relativiste : Ec =(γ - 1) m c^2
*énergie totale : E = γ m c^2
*énergie de masse : E_0 = m c^2 ; c'est la valeur de l'énergie de la particule lorsque V=0 ;
E_0 est encore appelée énergie de repos.
*On vérifie que : E = Ec + E_0
Dans ces relations, c est la vitesse de la lumière dans le vide et γ est donnée par :

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}}$$

G-1 En utilisant les grandeurs définies ci-dessus établir les relations suivantes :

$\vec{p}c = \frac{\vec{V}E}{c}$; E = $\sqrt{p^2 c^2 + m^2 c^4}$ ou encore E= $\sqrt{P^2 + E_0^2}$ avec P = pc et E_0 = mc^2

é /é 9

G-2 Des électrons émis par un filament sont accélérés entre le filament et une grille polarisée.

La différence de potentiel entre la grille et le filament est notée U .

On suppose que la vitesse initiale des électrons est nulle.

G-2-1 Etablir lœexpression de leur vitesse V dœarrivée sur la grille en fonction de U :

a) en utilisant les lois et grandeurs cinétiques de la mécanique classique.
b) en utilisant un raisonnement analogue en mécanique relativiste

G-2-2 Recopier le tableau suivant et le compléter :

U(volts)	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
v classique (ms^{-1})						
v relativiste (ms^{-1})						

Comparer les valeurs obtenues. Conclure.

Données: $e = 1{,}602.10^{-19}C$; masse de lœélectron $m = 9{,}109.10^{-31}kg = 0{,}5$ MeV.c^{-2}
et célérité de la lumière dans le vide $c = 2{,}998.10^8 m.s^{-1}$

G-3 La figure 8 est la reproduction du cliché dœun dispositif expérimental (chambre à bulles) dans lequel un proton en mouvement noté (1) a heurté un proton initialement au repos noté (0). Après lœinteraction, les deux trajectoires sont celles des deux protons notés (2) et (3). Dans ce dispositif règne un champ magnétique uniforme perpendiculaire au vecteur-vitesse du proton incident et à ceux des deux protons après le choc. De la sorte, les trajectoires ainsi matérialisées sont circulaires et sont toutes trois dans un même plan.

La quantité de mouvement du proton incident vaut $p_1 =$ 2000 MeV/c (ce qui revient à dire que la grandeur P_1 associée vaut $P_1 = p_1c$ = 2000 MeV). Les rayons de courbure mesurés sur le cliché valent respectivement R_1 = 340 cm ; R_2 = 300 cm et R_3 = 113 cm.

G-3-1 Calculer en MeV les valeurs de $P_2 = p_2c$ et $P_3 = p_3c$ associés aux quantités de mouvement p_2 et p_3. On admet quœune particule, relativiste ou non, de charge q, décrivant un arc de cercle de rayon R sous lœinfluence dœun champ magnétique uniforme B, possède une quantité de mouvement p telle que: **p = qRB**

G-3-2 La figure 9 donne la disposition des tangentes au point dœimpact, décalquées sur le cliché.

Reproduire cette figure sur la copie et construire les représentants des vecteurs $\vec{P}_1$; $\vec{P}_2$ et $\vec{P}_3$ associés aux quantités de mouvement $\vec{p}_1$, $\vec{p}_2$ et $\vec{p}_3$. (Echelle 1 cmŸ 100 MeV). Commenter et conclure.

G-3-3 La figure 10 donne la représentation graphique de lœénergie totale E (en MeV) dœun proton en fonction de la valeur de P =pc (en MeV) associée à sa quantité de mouvement.

Déterminer lœénergie totale du système constitué des deux protons avant puis après lœinteraction. Conclure.

On prendra : masse du proton m = 938 MeV/c^2

G-3-4 Quel peut être lœintérêt dœun dispositif expérimental tel que la chambre à bulles ?

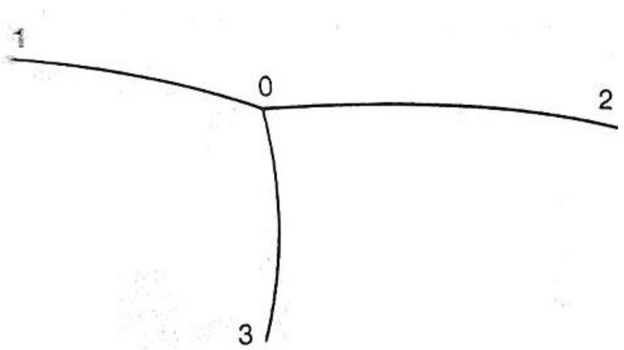


Figure 8

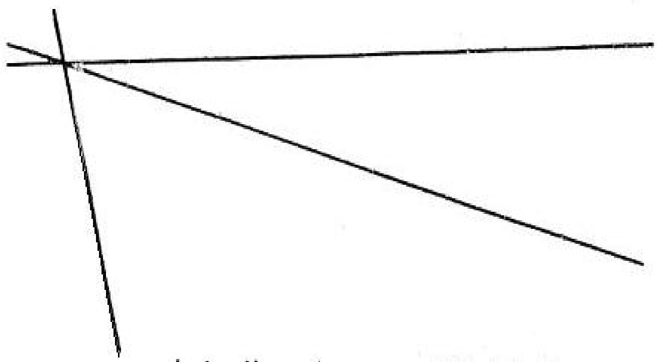


Figure 9

é /é 10

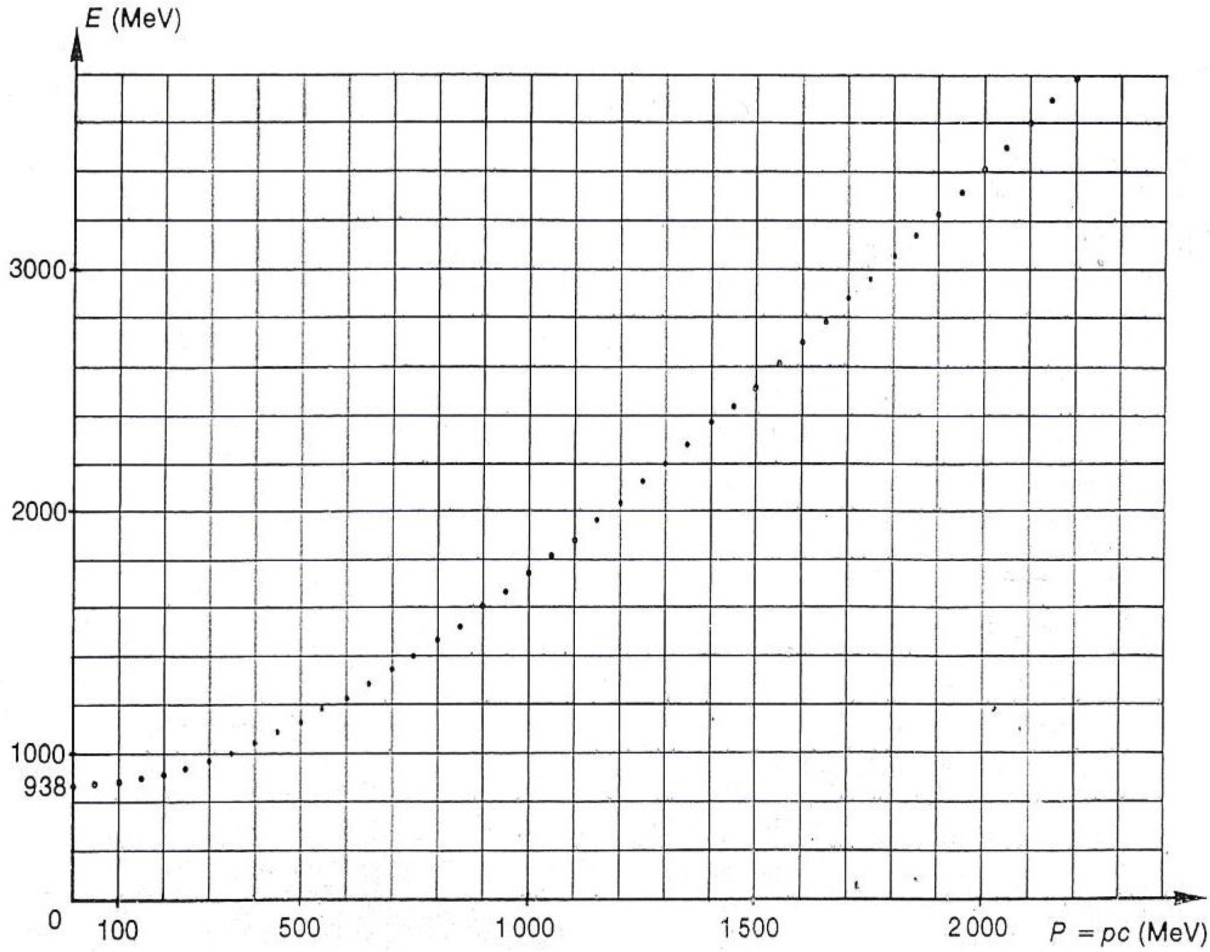


Figure 10

FIN DU SUJET