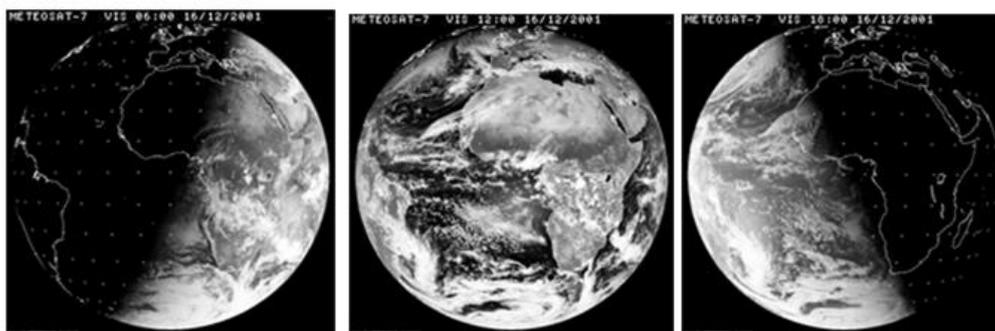


Exercice 1 (environ 10 points) : Etude de satellites terrestres artificiels

Document 1 :

Observation de la Terre par un satellite géostationnaire

"Météosat" est sans doute l'un des satellites les plus connus, en raison de la diffusion de ses images au cours du bulletin météorologique des journaux télévisés. Il fait partie de la catégorie des satellites géostationnaires.



Ci-dessus, trois images obtenues par Météosat en lumière visible, à 6h, 12h, 18h.

Document 2 :

Les lois de Képler

Johannes Képler (1571-1630) a étudié et confirmé l'hypothèse héliocentrique de Nicolas Copernic.



Il a découvert les relations mathématiques (dites Lois de Kepler) qui régissent les mouvements des planètes sur leur orbite. Ces relations sont fondamentales car elles furent plus tard exploitées par Isaac Newton pour élaborer la théorie de la gravitation universelle. Il faut toutefois noter que bien qu'il ait vu juste quant à la forme des orbites planétaires, Kepler expliquait les mouvements des planètes non pas par la gravité mais par le magnétisme.

La deuxième loi de Kepler, dite « loi des aires », précise que « des aires balayées par le rayon, reliant le satellite à l'astre attracteur, pendant des durées égales, sont égales ».

Jérôme SABY dans <http://www.astrofiles.net> – les dossiers de l'astronomie-

Document 3 :

Les mésaventures du satellite Hipparcos

Les satellites peuvent être placés sur différentes orbites, en fonction de leur mission. Un incident lors de leur satellisation peut modifier l'orbite initialement prévue. Hipparcos, un satellite d'astrométrie lancé par la fusée Ariane le 8 août 1989, n'a jamais atteint son orbite prévue. Un moteur n'ayant pas fonctionné, il est resté sur une orbite elliptique entre 36 000 km et 500 km d'altitude



Le satellite Hipparcos au cours de tests à l'ESTEC.

Dans tout l'exercice, on notera :

Masse de la Terre : M_T Rayon de la Terre : R_T

Masse du satellite étudié : m_s

Altitude du satellite étudié : h

Constante de gravitation universelle : G

Les questions 2 et 3 sont indépendantes.

1. Le premier satellite artificiel.

Si la possibilité théorique de mettre un satellite sur orbite autour de la Terre fut signalée en 1687 par Isaac Newton, il a fallu attendre le 4 octobre 1957 pour voir le lancement du premier satellite artificiel, Spoutnik 1, par les soviétiques.

1.1. Exprimer vectoriellement la force exercée par la Terre sur Spoutnik 1, supposé ponctuel, et la représenter sur un schéma.

1.2. L'étude se fait dans un référentiel géocentrique considéré comme galiléen.

En appliquant la deuxième loi de Newton établir l'expression vectorielle de l'accélération du satellite.

2. Les satellites artificiels à orbites circulaires.

Le télescope spatial Hubble, qui a permis de nombreuses découvertes en astronomie depuis son lancement en 1990, est en orbite circulaire à 600 km d'altitude et il effectue un tour complet de la Terre en 100 minutes.

2.1. Étude du mouvement du satellite Hubble dans un référentiel géocentrique

2.1.1. En reprenant les résultats de la partie 1, montrer sans calcul que le mouvement circulaire de Hubble est uniforme.

2.1.2. Exprimer littéralement sa vitesse en fonction des grandeurs M_T , R_T , h et G .

2.1.3. Exprimer la période T de son mouvement en fonction des grandeurs précédentes puis retrouver la troisième loi de Kepler appliquée à ce mouvement circulaire (l'énoncé de cette loi n'est pas demandé ici).

2.2. Cas d'un satellite géostationnaire

2.2.1. En vous servant des documents fournis en début d'exercice, déterminer ce qui caractérise le mouvement d'un satellite géostationnaire.

2.2.2. On propose trois trajectoires hypothétiques de satellite en mouvement circulaire uniforme autour de la Terre.

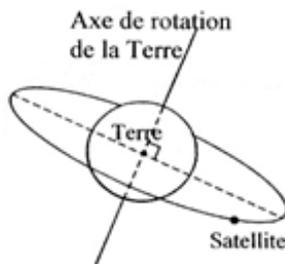


Figure 1

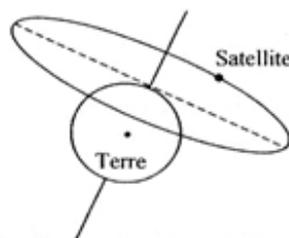


Figure 2

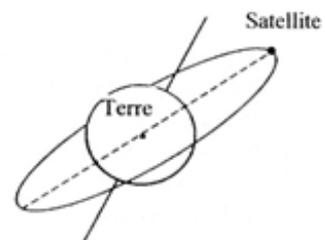


Figure 3

a. Montrer que seule l'une de ces trajectoires est incompatible avec les lois de la mécanique.

b. Quelle est la seule trajectoire qui peut correspondre au satellite géostationnaire ? Justifier la réponse.

3. Les satellites artificiels à orbites elliptiques comme Hipparcos :

3.1. Les satellites artificiels obéissent aux lois de Kepler.

Énoncer la première puis la troisième loi de Kepler dans le cas général d'une orbite elliptique.

3.2. Sans souci exagéré d'échelle ni d'exactitude de la courbe mathématique, dessiner l'allure de l'orbite du satellite Hipparcos. Placer sur ce schéma le centre d'inertie de la Terre et les altitudes mentionnées dans le document 3.

3.3. En appliquant la deuxième loi de Kepler (loi des aires) au schéma précédent, montrer sans calcul que la vitesse d'Hipparcos sur son orbite n'est pas constante.

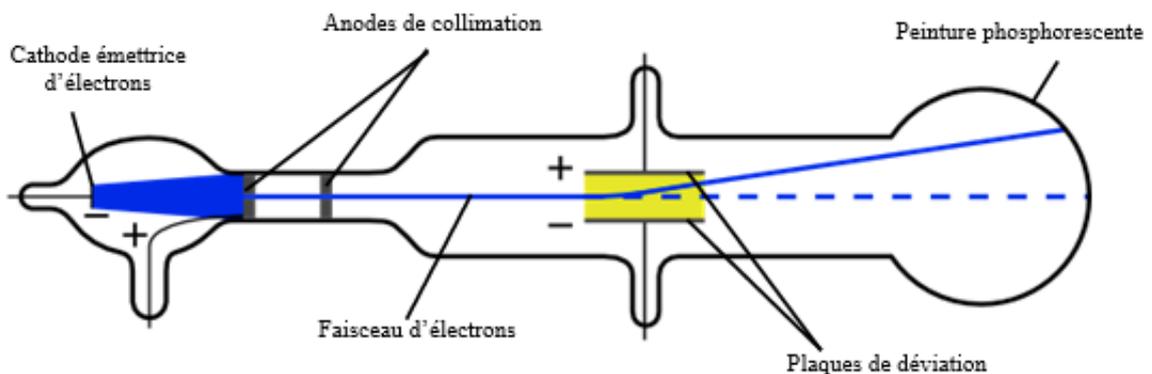
3.4. Préciser en quels points de son orbite sa vitesse est maximale, puis minimale. Ces points seront repérés sur le schéma du 3.2.

Exercice 2 (environ 10 points) : Détermination du rapport e/m pour l'électron

Document 1 : La deuxième expérience de Thomson

Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre deux plaques métalliques de charges opposées. Les électrons, soumis à un nouveau champ électrostatique, sont alors déviés de leur trajectoire et viennent frapper un écran constitué d'une couche de peinture phosphorescente.

Tube utilisé par Thomson pour montrer la déviation de particules chargées par un champ électrostatique :



Document 2 : Création d'un champ électrostatique

Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme \vec{E} caractérisé par :

- sa direction : perpendiculaire aux plaques
- son sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.



Joseph John Thomson
(1856 -1940),
physicien anglais

Document 3 : Force électrostatique subie par une particule chargée dans champ électrique \vec{E}

Force subie par la particule chargée $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$

Chargé de la particule

Champ électrostatique

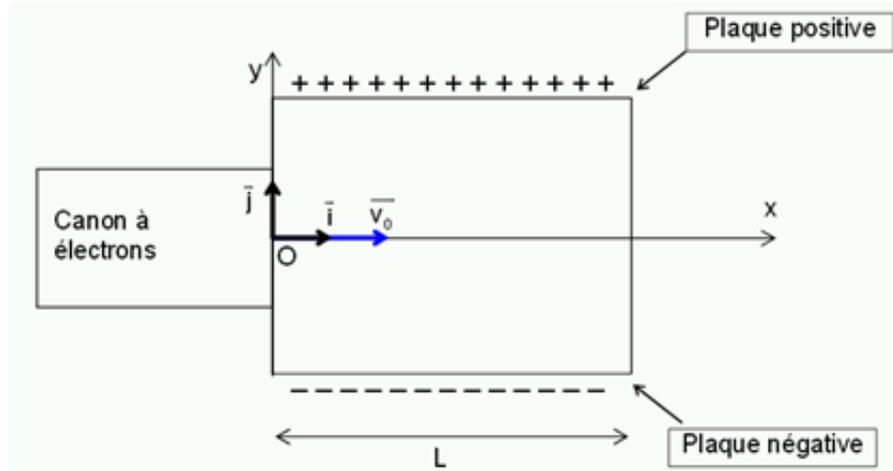
Document 4 : Les particules alpha

Dans ses travaux à l'Université McGill au Québec, Ernest Rutherford utilisa les mêmes expériences de déflexion électrique et magnétique, exploitées par J.J. Thomson dans la découverte de l'électron, pour identifier les rayons alpha comme des *particules positivement chargées* et pour mesurer leur charge.

Une particule alpha est un noyau d'Hélium. Il contient deux protons et deux neutrons. Il est environ 8000 fois plus lourd que l'électron.

Document 5 : Expérience de laboratoire ; détermination du rapport e/m pour l'électron

Le montage ci-dessous reprend le principe de la deuxième expérience de Thomson. Il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié entre deux plaques de charges opposées. On mesure la déviation verticale du faisceau d'électrons lors de la traversée des plaques sur une longueur L , afin de déterminer la valeur du rapport e/m .



Données de l'expérience :

Les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse $v_0 = 2,27 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$.

Le faisceau d'électrons passe entre les deux plaques chargées et est dévié d'une hauteur h quand il sort des plaques.

L'intensité du champ électrostatique entre les deux plaques est : $E = 15,0 \text{ kV.m}^{-1}$.

La longueur des plaques est : $L = 8,50 \text{ cm}$.

On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique \vec{F} .

1. Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J.J. Thomson.

1.1. Faire un schéma où apparaissent les 2 plaques et le vecteur champ électrostatique \vec{E} .

On prendra l'échelle suivante : 1,0 cm pour $5,0 \text{ kV.m}^{-1}$.

1.2. J.J. Thomson a observé une déviation du faisceau d'électrons vers la plaque métallique chargée positivement.

Expliquer comment J.J. Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

1.3. Donner la relation entre la force électrostatique \vec{F} subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ électrostatique \vec{E} . Montrer que le sens de déviation du faisceau d'électrons est cohérent avec le sens de \vec{F} .

2. Détermination du rapport e/m pour l'électron.

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les relations donnant les coordonnées de son vecteur accélération sont :

$$a_x = 0 \quad \text{et} \quad a_y = \frac{eE}{m}$$

2.2. Montrer que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour équation : $y = \frac{eE}{2mv_0^2} x^2$.

À la sortie des plaques, en $x = L$, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) a une valeur $h = 1,85$ cm.

2.3. En déduire l'expression du rapport $\frac{e}{m}$ en fonction de E , L , h et v_0 .

2.4. Donner la valeur du rapport $\frac{e}{m}$.

2.5. On donne ci-dessous les valeurs des grandeurs utilisées, avec les incertitudes associées :

$$v_0 = (2,27 \pm 0,02) \times 10^7 \text{ m.s}^{-1};$$

$$E = (15,0 \pm 0,1) \text{ kV.m}^{-1};$$

$$L = (8,50 \pm 0,05) \text{ cm};$$

$$h = (1,85 \pm 0,05) \text{ cm};$$

L'incertitude du rapport $\frac{e}{m}$, notée $U\left(\frac{e}{m}\right)$, s'exprime par la formule suivante :

$$U\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m} \sqrt{\left[\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2\right]}$$

Calculer l'incertitude $U\left(\frac{e}{m}\right)$, puis exprimer le résultat de $\left(\frac{e}{m}\right)$ avec cette incertitude.

3. Expérience avec des particules alpha

On refait l'expérience avec des particules alpha, auxquelles on a communiqué la même vitesse initiale horizontale v_0 . On désire obtenir la même déviation que pour l'électron (en 2..5). Pour cela on doit modifier le champ électrique.

3.1. Si on ne change pas le sens du champ électrique \vec{E} , que va-t-on observer ?

3.2. Déterminer la valeur du champ électrique E' qui provoque la même déviation.