

Leçon 8: Applications des lois de Newton aux mouvements circulaires uniformes

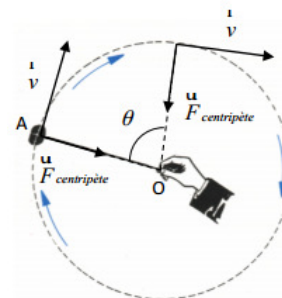
ACTIVITÉ D'INTÉGRATION

Document 1

Considérons le mouvement d'une pierre accrochée à une corde (fronde).

La pierre décrit un mouvement circulaire uniforme, sur sa trajectoire, la vitesse est constante et la pierre ne possède pas d'accélération dans la direction mouvement.

D'après le principe fondamental de la dynamique, si aucune accélération n'agit sur l'objet, alors aucune force non plus. ($F = m.a = 0$), sa trajectoire est rectiligne et sa vitesse **linéaire** est constante (principe d'inertie).



Document 2

La force centripète ne doit pas être confondue avec la force centrifuge. La force centrifuge est une **force fictive** liée à l'inertie et qui n'a été introduite que pour expliquer les mouvements observés par un observateur se trouvant sur un référentiel tournant. Ce que l'on retrouve aussi pour la force de Coriolis.

L'observateur aura la sensation d'être soumis à une force qui l'éloigne du centre de rotation. La sensation de la force centrifuge apparaît pour un passager lorsqu'un véhicule roule dans un virage.

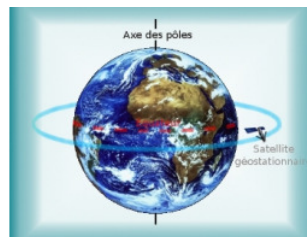


La force centripète est proportionnelle au carré de la vitesse ce qui signifie que, lorsque la vitesse double, la force centripète est multipliée par quatre. Afin de compenser l'effet de cette force centripète, les virages sont souvent surélevés à l'extérieur pour éviter les problèmes de dérapages.

Document 3

Un Satellite est un corps en orbite autour d'un corps plus massif.

Il peut s'agir d'un satellite naturel ou d'un satellite artificiel ou même d'une galaxie satellite. Un satellite **géostationnaire** est un satellite artificiel qui se trouve sur une orbite géostationnaire. Sur cette orbite le satellite se déplace de manière exactement synchrone avec la planète et reste constamment au-dessus du même point de la surface.



L'étude du mouvement des planètes s'effectue dans un repère héliocentrique (on se place au centre du soleil). L'étude du mouvement des satellites de la terre se fait dans un repère géocentrique (on se place au centre de la terre). Ces deux référentiels sont considérés comme galiléens (les lois de Newton y sont applicables). On vient de voir que si la trajectoire d'un solide est circulaire uniforme, alors la force qui lui est appliquée est **centripète**.

En vous servant de vos connaissances et de la leçon précédente, répondez brièvement aux questions suivantes :

- a. Quel type de mouvement est décrit dans les trois documents ci-dessus ?
- b. D'après ces documents, qu'est-ce qu'un mouvement circulaire uniforme ?
- c. Quelles sont les caractéristiques d'un mouvement circulaire uniforme ?
- d. D'après le document 2, quelle précaution faut-il prendre pour éviter les éventuels dérapages sur les routes ?
- e. Définir : satellite géostationnaire.



Objectif général

- Déterminer à partir des lois de Newton, les caractéristiques des mouvements circulaires uniformes d'un système de points matériels ou d'une particule dans un champ uniforme.

Séance 1

6.1

Généralité sur les mouvements circulaires uniformes

Objectif

- Déterminer les caractéristiques d'un mouvement circulaire uniforme.

Dans un mouvement circulaire uniforme (MCU), la vitesse est constante en module :

$$v = \text{cste} = \dot{\theta} = \text{cste} \rightarrow \ddot{\theta} = 0$$

$$\text{or } a_t = r\ddot{\theta} \Rightarrow a_t = 0$$

$\vec{a} = \vec{a}_n$: on parle alors d'**accélération normale** ou **radiale** ; elle est dirigée vers le centre du mouvement : c'est l'accélération **centripète** :

$$\begin{cases} v = r.\omega \\ a_n = r.\omega^2 \end{cases} \quad (6.1)$$

Unités : r (m) = rayon du cercle ; ω (rad/s) ; a_n (m/s²)

• Période d'un MCU

C'est la durée **T** (s) faite par une particule pour effectuer un tour de rotation :

$$\begin{cases} T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi r}{v} \\ N = f = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r} \end{cases} \quad (6.2)$$

Avec :

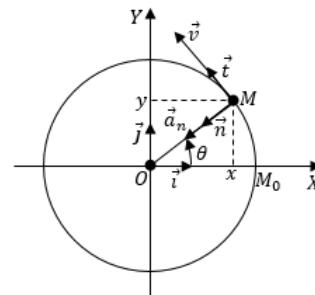
- ω : vitesse angulaire (rad/s)
- f : fréquence du mouvement (Hz)
- N : vitesse de rotation (tr/s)

• Équation horaire $\theta = \dot{\theta}(t - t_0) + \theta_0$

Si $t_0 = 0$, alors :

$$\theta = \omega t + \theta_0$$

avec $\dot{\theta} = \dot{\theta}_0 = \omega$ et $\dot{\theta}_0$ = vitesse angulaire initiale.



$\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$ de plus,

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \\ S = r\theta \\ v = \dot{S} = r\dot{\theta} \\ a_t = \dot{S} = r\ddot{\theta} \end{cases} \quad (6.3)$$

$$\vec{v} \begin{cases} \dot{x} = -r\dot{\theta} \sin \theta \\ \dot{y} = r\dot{\theta} \cos \theta \end{cases}$$

$$||\vec{v}|| = r\dot{\theta}$$

Pour un mouvement circulaire uniformément varié on a :

$$\begin{cases} \ddot{\theta} \neq 0 \\ \dot{\theta} = \ddot{\theta}(t - t_0) + \dot{\theta}_0 \\ \theta = \frac{1}{2}\ddot{\theta}(t - t_0)^2 + \dot{\theta}_0(t - t_0) + \theta_0 \\ \dot{\theta}^2 - \dot{\theta}_0^2 = 2\ddot{\theta}(\theta - \theta_0) \end{cases} \quad (6.4)$$

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0 = 2\pi n \quad (6.5)$$

n = nombre de tours (tr) ; $\Delta\theta$ (rad)



Séance 2

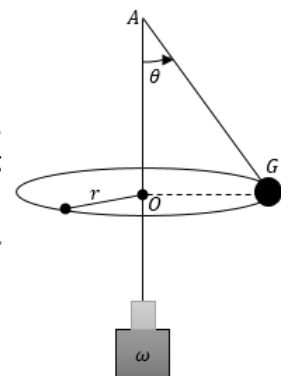
6.2

Application aux lois de Newton

ACTIVITÉ D'INTÉGRATION

Un pendule conique est constitué d'une boule métallique (G) quasi-ponctuelle de masse $m = 30 \text{ g}$, suspendue à l'extrémité d'un fil inextensible de longueur $AG = \ell = 1 \text{ m}$ et de masse négligeable.

L'autre extrémité du fil est fixée en un point A d'un axe vertical (Δ). L'axe tourne sur lui-même à une vitesse angulaire constante ω constante. La boule (G) décrit alors un cercle contenu dans un plan horizontal et la direction du fil fait un angle $\theta = 28^\circ$, avec la verticale. **On donne $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$.**



- Reproduire la figure et représenter toutes les forces agissant sur la boule (G).
- Établir la relation donnant $\cos \theta$ en fonction de ω , g et ℓ .
- Déterminer pour l'angle $\theta = 28^\circ$, la vitesse angulaire ω de l'ensemble.
- En déduire la tension du fil.
- Quelle est la valeur minimale ω_0 au-dessus de laquelle le fil s'écarte de la verticale ?

Objectifs

- Montrer qu'un mouvement est circulaire uniforme.
- Étudier le mouvement d'un pendule conique et celui d'un mobile négociant un virage.



6.2.1. Mouvement d'un pendule conique

a) Détermination de la tension du fil

Un pendule conique est constitué d'une tige verticale (*solidaire de l'arbre d'un moteur*) supportant par son extrémité par l'intermédiaire d'un fil ou d'un ressort de masse négligeable, une boule de masse m et de centre d'inertie G.

- $\ell = AG =$ longueur du pendule (m)
- $r = OG =$ rayon de courbure du cercle décrit par le pendule dans le plan horizontal (m)
- $\omega =$ vitesse angulaire (rad/s)

Forces appliquées au système formé par la masse m :

$$\begin{cases} \vec{T} : \text{tension du fil} \\ \vec{P} : \text{poids de la boule} \end{cases}$$

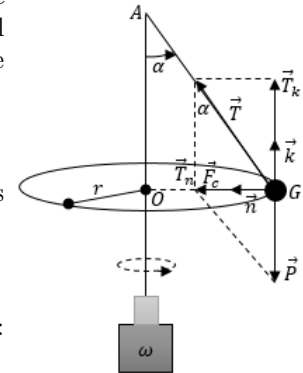


Figure 6.6 : Un pendule conique

Dans un référentiel de laboratoire, le TCI s'applique et est telle que :

$$\vec{T} + \vec{P} = m\vec{a} = \vec{F}_c \quad (*)$$

avec $\vec{F}_c$: **force centripète** suivant la normale $\vec{n}$: $T_n = F_c$

$$(2^*)$$

$$T \sin \alpha = F_c = m \cdot a_n \quad (3^*) \quad \text{or} \quad \begin{cases} v = r\omega \\ r = \ell \sin \alpha \end{cases} \quad (6.6)$$

$$T = m\omega^2 \ell \quad (6.7)$$

La projection suivant $\vec{k}$, donne : $P_k + T_k = -mg + T \cos \alpha = 0$ soit :

$$T = \frac{mg}{\cos \alpha} \quad (6.8)$$

b) Condition pour que la boule s'écarte de la tige

$$\tan \alpha = \frac{F_c}{P} = \frac{m\omega^2 \ell \sin \alpha}{mg} \Leftrightarrow \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{\omega^2 \ell \sin \alpha}{g}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \cos \alpha = \frac{g}{\ell \omega^2} \\ \omega = \sqrt{\frac{g}{\ell \cos \alpha}} \end{cases} \quad (6.9)$$

or $\cos \alpha \leq 1 \Rightarrow \frac{g}{\ell \cos \alpha} \leq 1$, on a alors :

$$\omega \geq \sqrt{\frac{g}{\ell}} \quad (6.10)$$

Posons,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\ell}} \quad (6.11)$$

d'où

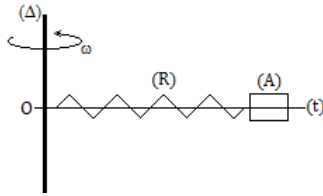
$$\omega \geq \omega_0 \quad (6.12)$$

La valeur minimale de ω pour que la boule s'écarte de la tige est ω_0 .

Exemple 6.1

Un axe vertical (Δ) sur lequel est fixé une tige (t) horizontale, tourne à la vitesse constante ω . On enfle sur la tige un ressort (R) de masse négligeable

et de raideur k , fixé en O et portant à son extrémité libre en anneau (A), de masse m . Le ressort et l'anneau coulisent sans frottement sur la tige (t).



- a) Déterminer l'allongement du ressort en fonction de ω , k , m et ℓ_0 , longueur du ressort à vide.
- b) **AN** : $m = 50 \text{ g}$; $\omega = 2\pi \text{ rad.s}^{-1}$; $k = 0,1 \text{ N.cm}^{-1}$; $\ell_0 = 15 \text{ cm}$.
- c) La limite d'élasticité est atteinte lorsque l'allongement du ressort est égal à 25 cm . Calculer (en tr/s) la fréquence maximale permise.

Solution 6.1

L'anneau (A) est soumis à deux forces : son poids $\vec{P}$ et la tension $\vec{T}$ du ressort.

- a) Déterminons l'allongement $\ell = f(\omega, m, k, \ell_0)$

$$\text{TCI} : \vec{P} + \vec{T} = m \cdot \vec{a}_n$$

$$\text{or } \begin{cases} T = k\ell \\ a_n = (\ell + \ell_0)\omega^2 \end{cases}$$

La projection suivant la normale du TCI, nous permet d'avoir :

$$\ell = \frac{m\ell_0\omega^2}{k - m\omega^2}$$

- b) **AN** : $\ell = 3,68 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,68 \text{ cm}$.

- c) Calculons, en tr/s, la fréquence f_{max} pour $\ell_{max} = 25 \text{ cm}$.

$$k\ell_{max} = m(\ell_{max} + \ell_0)\omega_{max}^2$$

$$\omega_{max}^2 = \frac{k \cdot \ell_{max}}{m(\ell_{max} + \ell_0)} \text{ or } \omega_{max} = 2\pi f_{max}$$

$$\Rightarrow f_{max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k \cdot \ell_{max}}{m(\ell_{max} + \ell_0)}}$$

$$\text{AN} : f_{max} = 1,78 \text{ tr/s.}$$

6.2.2 Mouvement d'un véhicule d'un virage

Considérons un cycliste qui aborde en roue libre (i.e. sans pédaler), un virage circulaire de rayon r . Soit le système (S) = {homme - vélo} de masse totale m et de centre d'inertie G. Appliquons à G, le théorème du centre d'inertie dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Les forces appliquées à (S) sont :

- la réaction $\vec{R}$ de la piste
- le poids $\vec{P}$ de l'ensemble (S)

On peut donc écrire : $\vec{P} + \vec{R} = m \cdot \vec{a}$

a) Piste horizontale et lisse (frottement ≈ 0)

Si la piste est parfaitement horizontale et qu'il n'y a pas de frottements, la réaction $\vec{R}$ est perpendiculaire à la piste et il n'y a aucun mouvement du cycliste suivant la verticale. On a donc :

$$\vec{P} + \vec{R} = \vec{0} \text{ soit } \vec{a} = \vec{0}$$

Le mouvement du cycliste est nécessairement rectiligne uniforme, le cycliste ne peut donc pas prendre le virage.

b) Condition du virage

Pour prendre un virage possible sur une piste lisse, le plan du virage doit être incliné d'un angle α par rapport à l'horizontale. Si la piste est non lisse (*existence des frottements*) le virage est aussi possible.

O = centre de courbure du virage; OG = r = rayon de courbure.

le cycliste ne peut prendre le virage que si la somme $\vec{F}_{centripète} = \vec{R} + \vec{P}$ des forces appliquées est *centripète*. La réaction $\vec{R}$ doit donc être inclinée d'un angle α , par rapport à la verticale :

$$a_t = 0 \Rightarrow \vec{v} = \overrightarrow{cste}; a_n = \frac{v^2}{r} = cste \rightarrow r = cste \Rightarrow \text{MCU.}$$

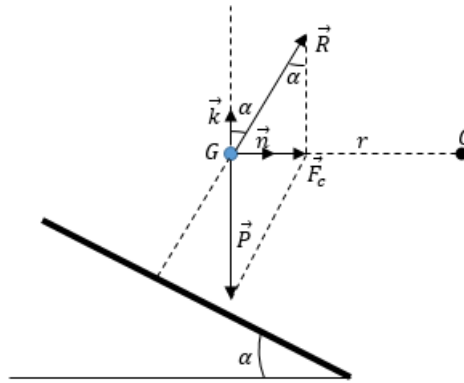


Figure 6.7 : Cycliste G dans un virage

• TCI : $\vec{P} + \vec{R} = m \cdot \vec{a} = \vec{F}_c$

• Projections :

– Suivant $\vec{n}$: $R_n = F_c$ soit

$$R \sin \alpha = F_c \quad (6.13)$$

– Suivant $\vec{k}$: $R_k = P$ soit

$$R \cos \alpha = mg \quad (6.14)$$

$$\begin{aligned} \frac{(6.13)}{(6.14)} &\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} F_c = mg \tan \alpha = \frac{m \cdot v^2}{r} \\ R = \frac{mg}{\cos \alpha} \\ \tan \alpha = \frac{v^2}{rg} \end{array} \right. \quad \text{condition de virage} \end{aligned} \quad (6.15)$$

L'angle α nécessaire pour éviter le dérapage du cycliste (véhicule), dépend de la vitesse $\vec{v}$ et du rayon de courbure r du virage.

Exemple 6.2

Une petite poupée, assimilable à un point matériel de masse $m = 60 \text{ g}$, est suspendue par l'intermédiaire d'un fil fixé sur le pare-brise d'une automobile.

Dans un virage circulaire horizontal, le fil s'incline d'un angle $\theta = 8^\circ$ par rapport à la verticale. L'aiguille du compteur de vitesse reste fixée sur $v = 90 \text{ km.h}^{-1}$.

- Comment interpréter cette inclinaison ?
- Quel est le rayon R de courbure de la trajectoire.

a) Cette inclinaison est due à la force centrifuge de la poupée qui est contraire à la force centripète du véhicule due au virage (force de frottement).

b) Calculons R

On sait que : $\tan \theta = \frac{v^2}{R \cdot g}$, donc

$$R = \frac{v^2}{g \cdot \tan \theta}$$

AN : $R = 453,79 \text{ m}$.

Solution 6.2

Jeu bilingue

Expression française	English expression	Expression française	English expression
Rayon de courbure	Radius of curvature	Force centrifuge	Centrifugal force
Force centripète	Centripetal force	Virage	Turn
Piste	Track	Piste de route	Road track
Piste lisse	Smooth track	Piste rugueuse	Rough track

Séance 3

6.3 Mouvement d'un satellite dans un champ de gravitation terrestre

ACTIVITÉ D'INTÉGRATION

Un satellite artificiel (S) décrit une orbite circulaire autour de la Terre (T) de rayon $r = 8\,524\text{ km}$. La vitesse angulaire est constante et égale $\omega = 8,055 \cdot 10^{-4}\text{ rad.s}^{-1}$.

- Décrire le mouvement du satellite autour de la Terre. Est-il uniforme? Justifier.
- Donner la valeur de la vitesse linéaire du satellite en m.s^{-1} puis en km.h^{-1} .
- Donner la valeurs de l'accélération normale et l'accélération tangentielle du satellite sur son orbite. Ce mouvement peut-il être qualifié d'accélééré?
- Représenter sur un schéma les vecteurs vitesse et accélération.



Objectifs

- ▶ Montrer qu'un satellite a un mouvement circulaire uniforme.
- ▶ Caractériser un satellite géostationnaire.
- ▶ Étudier le mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme.
- ▶ Citer les applications de la déflexion magnétique.

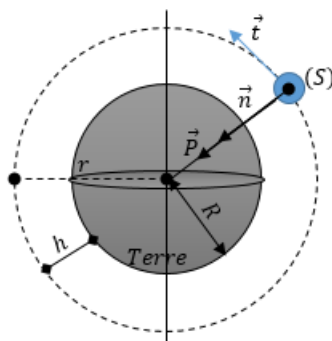
6.3.1. Définitions

On appelle **satellite terrestre**, tout corps (astre, engin ou planète) gravitant au tour de la terre et qui effectue un mouvement de révolution (MCU) sous l'action de la force d'attraction terrestre (poids).

6.3.2. Nature du mouvement

Considérons un solide (S) de masse m en révolution autour de la Terre (T).

Le référentiel d'étude est géocentrique.



r : rayon de la trajectoire du satellite (S)

h : altitude par rapport à la surface de la terre (T)

R : rayon de la Terre

$$r = R + h$$

Figure 6.8 : Mouvement d'un satellite autour de la Terre



- Un géocentrique est un référentiel dont l'origine est le centre de la Terre et les axes orientés vers les trois étoiles fixes.
- Le référentiel géocentrique est pratiquement galiléen par rapport au référentiel de Copernic, car la rotation de la Terre au tour du Soleil est lente.
- TCI : $\sum \vec{F} = m\vec{g}_h = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \vec{g}_h$

Dans la base de Frenet $(\vec{t}, \vec{n})$, on a : $\frac{dv}{dt} = 0 \Rightarrow v = cste$

$$a_n = g_h = \frac{v^2}{r} \text{ soit } r = \frac{v^2}{g_h} = R + h = cste \quad (6.16)$$

On a donc : $\begin{cases} v = cste \\ r = cste \end{cases}$: le satellite a un mouvement circulaire uniforme (MCU).

$$\begin{cases} v = \sqrt{g_h(R+h)} \\ g_h = \frac{g_0 \cdot R^2}{(R+h)^2} \\ v = R\sqrt{\frac{g_0}{r}} \end{cases} \quad (6.17)$$

6.3.3. Période de révolution du satellite

Nous savons que la période T et la vitesse angulaire ω sont liées par la relation :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (6.18)$$

De plus, la vitesse linéaire v et ω sont liées par :

$$\begin{cases} v = r\omega = (R+h)\omega \\ \omega = \frac{v}{R+h} \end{cases} \quad (6.19)$$

En introduisant (6.17.3) et (6.19.2) dans (6.18), on obtient :

$$\begin{cases} T = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{r^3}{g_0}} = \frac{2\pi}{R} \sqrt{\frac{(R+h)^3}{g_0}} \\ h = \sqrt[3]{\frac{T^2 R^2 g_0}{4\pi^2}} - R \end{cases} \quad (6.20)$$

Unités : ω (rad/s) ; v (m/s) ; T (s) ; g_0 (N/kg ou m/s²) ; h (m) ; R (m) ; r (m)

- Un satellite **géostationnaire** est un satellite qui se déplace dans le plan équatorial, dans le même sens et avec la même vitesse de rotation que celle de la Terre (il paraît fixe dans le référentiel galiléen). C'est aussi un satellite qui tourne autour de la Terre dans le plan équatorial et qui apparaît immobile pour un observateur terrestre.
- Tout satellite géostationnaire évolue à une altitude d'environ $h = 36\,000$ km.
- La période de révolution des satellites géostationnaires, pour un observateur placé à la surface de la Terre vaut un **jour sidéral** :

$$1 \text{ jour sidéral} = 86\,164 \text{ s} \approx 23 \text{ h } 56 \text{ min } 04 \text{ s}$$

- Un **jour sidéral** est le temps mis par la Terre pour effectuer une rotation complète autour d'elle-même.
- Un **jour solaire** est le temps qui sépare deux passages successifs du Soleil à la même verticale d'un lieu : il vaut **24 h = 84 400 s**.
- Les lois de Kepler



1^{re} loi de Kepler (1605) : chaque planète décrit, dans le sens direct, une ellipse dont le Soleil occupe l'un des foyers.

2^e loi de Kepler (1604) : pendant des durées égales, le rayon vecteur $\vec{SP}$ allant du centre du Soleil S au centre P de chacune des planètes, balaie des aires égales.

3^e loi de Kepler (1618) : Le carré de la période T d'une planète est proportionnel au cube du demi-grand axe r de sa trajectoire :

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{g_0 \cdot R^2} = K_s \quad (6.21)$$

Remarque

La constante K_s dépend de la masse M_S du Soleil $\left(K_s = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_S}\right)$. Les lois de Kepler sont valables pour le mouvement de révolution d'un satellite autour d'une planète ; K_s doit être alors remplacée par K_p qui dépend de la masse de planète $\left(K_p = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_p}\right)$.

La 3^e loi de Kepler s'énonce aussi de la manière suivante : « Pour une planète donnée, le rapport $\frac{T^2}{r^3}$ est indépendant de la masse de la planète (d'après 6.21). Ce rapport reste constant : $\frac{T_1^2}{r_1^3} = \frac{T_2^2}{r_2^3} = \text{cste}$ »

- Les satellites sont mis sur les orbites à partir des fusées ou des navettes spatiales lancées au niveau de la surface de la Terre à une vitesse qui permet au satellite de s'échapper de l'attraction de la Terre et d'évoluer d'eux-mêmes grâce à la force gravitationnelle.

La vitesse minimale qu'il faut communiquer à la fusée pour libérer le satellite est :

$$V_l = \sqrt{2gr_0} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{r_0}} = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R + h_0}} \quad (6.22)$$

- Pour une orbite circulaire,
$$\begin{cases} V_c = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r_0}} \\ V_l = V_c \sqrt{2} \end{cases} \quad (6.23)$$

- Si $v_0 < V_c$, alors, le satellite retombe sur la Terre (v_0 : vitesse initiale de lancement de la fusée).
- Si $V_c < v_0 < V_l$, alors, la trajectoire est **elliptique**.
- Si $v_0 \geq V_l$, alors, la trajectoire est **hyperbolique**. C'est le cas des sondes spatiales.

- Les satellites géostationnaires sont utilisés pour les télécommunications intercontinentales (à l'instar de Syncom 4) et servent de relais pour certains satellites artificiels utiles à des fins militaires, économiques, scientifiques, météorologiques,...

Exemple 6.3

L'axe Terre-Lune est assimilé à un axe (Ox) où O est le centre de la Terre, orienté de la Terre vers la Lune. On donne la distance Terre-Lune $d(T, L) = d = 3,84 \cdot 10^8$ m, la masse $M_T = 6 \cdot 10^{24}$ kg et la masse de la Lune $M_L = 7,34 \cdot 10^{22}$ kg.

- Déterminer les positions du point matériel M de masse m sur l'axe (Ox) telles que la force d'attraction terrestre soit compensée par la force d'attraction lunaire.
- Adams, pensait que c'était seulement en un tel point que les voyageurs se dirigeaient vers la Lune dans un véhicule spatial, moteur arrêté, seraient en état d'impesanteur. Avait-il

raison ?

Solution 6.3

- Soit un point M d'abscisse x situé sur l'axe Terre-Lune orienté de la Terre vers la Lune, le vecteur unitaire correspondant est noté $\vec{u}$. La force d'interaction gravitationnelle totale s'écrit :

$$\vec{F} = \left(-\frac{G \cdot M_T \cdot m}{x^2} + \frac{G \cdot M_L \cdot m}{(d-x)^2} \right) \vec{u}$$

Cette force s'annule lorsque :

$$-\frac{G \cdot M_T \cdot m}{x^2} + \frac{G \cdot M_L \cdot m}{(d-x)^2} = 0$$



Soit

$$x = \frac{\pm \sqrt{\frac{M_T}{M_L}}}{1 \pm \sqrt{\frac{M_T}{M_L}}} \cdot d$$

Ce qui donne $x = 3,46 \cdot 10^8$ m ou $4,32 \cdot 10^8$ m.

b. Dans un véhicule spatial dont le moteur est arrêté, tous les objets à l'intérieur du véhicule spatial, ont le même mouvement que le véhicule spatial : ils sont donc en état d'impesanteur, que la force d'interaction gravitationnelle totale soit nulle ou pas. Adams avait donc tort.

6.3.4. Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme

Considérons une particule $\mathbf{G}$ de charge $q > 0$ animée d'une vitesse $\vec{v}_0$ et pénétrant dans une région où règne un champ magnétique $\vec{B}$.

a) Cas où $\vec{B}$ colinéaire à $\vec{v}_0$

Si $\vec{B}$ est colinéaire à $\vec{v}_0$, la force de Lorentz $\vec{F} = q\vec{v}_0 \wedge \vec{B} = q \cdot v_0 \cdot B \cdot \sin(0, \pi)$ est nulle ($0, \pi$) sont les angles pouvant définir la colinéarité entre les vecteurs $\vec{v}_0$ et $\vec{B}$.

D'après le TCI, $\vec{F} = m\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = \overrightarrow{cste}$, on a alors un mouvement rectiligne uniforme.

b) Cas où $\vec{B} \perp \vec{v}_0$

Le dispositif d'étude comprend une ampoule transparente sphérique munie :

- d'un canon à électrons et contenant un gaz qui devient lumineux lors du passage des électrons
- de 2-bobines d'Helmholtz situées de part et d'autre de l'ampoule.

La rotation de l'ampoule permet de modifier l'orientation de la vitesse de pénétration des électrons $\vec{v}_e$ à celle du champ magnétique.

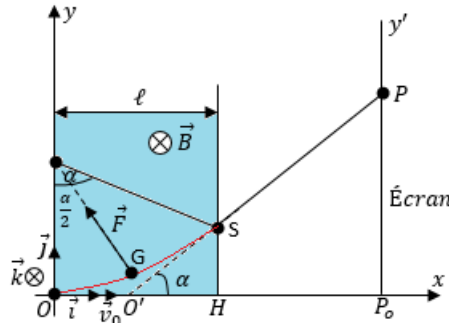


Figure 6.9 : Dispositif expérimental : Déflexion magnétique

❶ Nature du mouvement

Nous négligeons le poids de la particule G. En appliquant le TCI, dans un référentiel de laboratoire, au système constitué par la particule, on a : $\sum \vec{F} = \vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B} = m\vec{a}$

$$\vec{a} = q \frac{\vec{V} \wedge \vec{B}}{m}$$

★ Suivant $\vec{t}$: $a_t = 0 \rightarrow \frac{dV}{dt} = 0 : V = \text{cste} = v_0$

★ Suivant $\vec{n}$:

$$\begin{cases} a_n = \frac{|q|v_0B}{m} = \frac{v_0^2}{R} \\ R = \frac{mv_0}{|q|B} \end{cases} \quad (6.24)$$



Unités : R (m) ; m (kg) ; q (C) ; v_0 (m/s) ; B (T).

Conclusion : La trajectoire de G, dans la zone où règne le CMU $\vec{B}$ est un **arc de cercle** de rayon R : la charge (particule) est donc animée d'un mouvement circulaire uniforme

La période T et la vitesse angulaire ω dans cette expérience sont données par :

$$\begin{cases} T = \frac{2\pi m}{|q|B} \\ \omega = \frac{|q|B}{m} \end{cases} \quad (6.25)$$

Après la sortie du champ magnétique, G est rectiligne uniforme car elle n'est soumise à aucune force.

② Déflexion magnétique

Soit α la déviation angulaire infligée à la particule par le champ magnétique $\vec{B}$: $\tan \alpha = \frac{\overrightarrow{P_oP}}{O'P_o}$

Posons $O'P_o = D$. On a :

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{\overrightarrow{P_oP}}{D} \\ \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{OO'}{R} = \frac{\ell}{2R} \end{cases} \quad (6.26)$$

or α petit en radians, donc, $\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \approx \frac{\alpha}{2} = \frac{\ell}{2R}$, donc,

$$\alpha = \frac{\ell}{R} = \frac{|q|B\ell}{mv_0} \quad (6.27)$$

$$\tan \alpha \approx \alpha = \frac{\overrightarrow{P_oP}}{D} = \frac{\ell}{D},$$

$$\overrightarrow{P_oP} = y_p = \frac{\ell \cdot D}{R} = \frac{|q|\ell D}{mv_0} \cdot B \quad (6.28)$$

Conclusion : La déflexion magnétique est proportionnelle au champ magnétique.

6.3.5. Quelques applications de la déflexion magnétique

- Le spectrographe de masse qui permet la séparation des isotopes
- Les cyclotrons qui sont des accélérateurs des particules à trajectoire circulaire
- Les synchrotrons qui sont des accélérateurs des particules permettant de produire des rayonnements très intenses.
- Les déflexions magnétiques observées dans les téléviseurs
- Les déviations des particules de hautes énergies en physique nucléaire.

Jeu bilingue

- Déflexion magnétique → **Magnetic deflection**
- Déviation angulaire → **Angular deviation**
- Spectrographe de masse → **Mass spectrograph**
- Accélérateur de particules → **Particle accelerator**