

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

# Mouvements plans

## Chapitre 14

allal Mahdade

Groupe scolaire La Sagesse Lycée qualifiante

14 mars 2017

# Sommaire

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 1 Introduction

2 Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

3 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

4 Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

# Sommaire

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

- 1 Introduction
- 2 Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?
- 3 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .
- 4 Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?
- 5 Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

# Sommaire

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

- 1 Introduction
- 2 Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?
- 3 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .
- 4 Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?
- 5 Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

# Sommaire

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

- 1 Introduction
- 2 Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?
- 3 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .
- 4 Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?
- 5 Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

# Sommaire

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

- 1 Introduction
- 2 Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?
- 3 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .
- 4 Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?
- 5 Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

# Introduction

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



Lester Leffkowitz/Taxi/Getty Images



Un soudeur coupe des trous à travers un poutre de construction en métal avec torche. Les étincelles générées (projectiles) suivent des chemins paraboliques.

L'athlète fournit une impulsion sur la planche, pour monter et retomber le plus loin possible .

La lune est la seule satellite naturelle de la Terre . Elle gravite autour d'elle en décrivant une orbite elliptique dont le centre de la terre est l'un des ces foyers .

Ces trois exemples , ce sont des mouvement plan .

# Introduction

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Comment déterminer et décrire le mouvement d'un projectile et celui d'un satellite ?



# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

***Un projectile*** (du latin projectus : jeté en avant) est un corps lancé ou projeté pour atteindre une cible. Dans le domaine de la balistique, il s'agit plus particulièrement d'un corps projeté par une arme. On étudie le mouvement d'un projectile dans une région d'espace où le champ de pesanteur peut être considéré comme uniforme .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 1. Étude expérimentale :

Quel est le mouvement d'une bille dans le champ de pesanteur ?  
On film une bille lancée dans un plan perpendiculaire à l'axe de visée d'un caméscope . lorsque on analyse le film à l'aide d'un logiciel de traitement d'image et en faisant tracer les vecteurs vitesses et accélérations du centre d'inertie de la bille on obtient le document suivant :

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvements plans

allal Mahdade

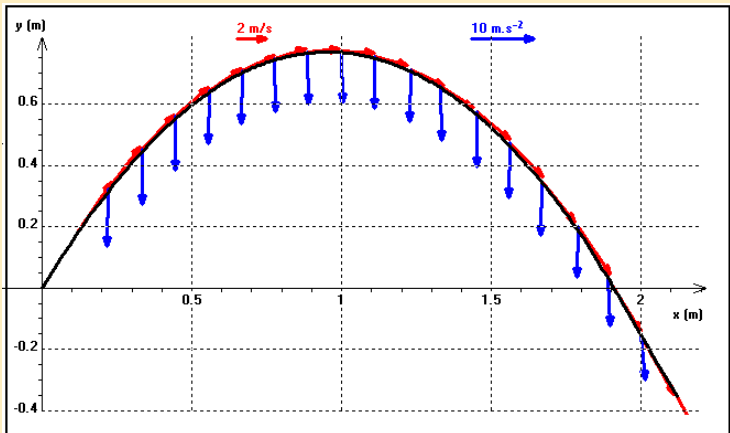
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Observations :

- \* Le vecteur vitesse du centre d'inertie de la bille change de valeurs et de direction au cours du mouvement .
- \* Le vecteur accélération est constante , vertical descendant .
- \* Le vecteur accélération a la direction et le sens du vecteur champs de pesanteur  $\vec{g}$  .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 2. L'équation différentielle du mouvement

Une bille est lancée avec une vitesse  $\vec{v}_0$  faisant un angle  $\alpha$  avec le plan horizontal. Étudions le mouvement de son centre d'inertie dans le référentiel terrestre .

Choissant un repère  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  lié à ce référentiel.

Le vecteur unitaire  $\vec{k}$  est perpendiculaire au plan  $(xOy)$  , ce dernier contient le vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  et l'angle  $\alpha$  est l'angle  $(\vec{i}, \vec{v}_0)$

L'origine O coïncide avec la position initiale du centre d'inertie G du projectile .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Les conditions initiales :

Dans ce repère et la date  $t=0$  , nous avons :

$$\overrightarrow{OG_0} \begin{cases} x_0 = 0 \\ y_0 = 0 \\ z_0 = 0 \end{cases} \quad \vec{v}_0 \begin{cases} \dot{x}_0 = v_0 \cos(\alpha) \\ \dot{y}_0 = v_0 \sin(\alpha) \\ \dot{z}_0 = 0 \end{cases}$$

À la date  $t$  quelconque ,  $G$  a pour coordonnées  $(x,y,z)$  , sa vitesse  $\vec{v}_G(\dot{x}, \dot{y}, \dot{z})$ . On applique la deuxième loi de Newton :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}_G$$

où  $\vec{a}_G$  est le vecteur accélération du centre d'inertie  $G$  .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On néglige la résistance de l'air , bilan des forces exercées sur la bille au cours de son mouvement est une seule force le poids de la bille :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = \vec{P} = m \cdot \vec{a}_G$$

$$m \vec{a}_G = m \cdot \vec{g}$$

$$\boxed{\vec{a}_G = \vec{g}} \quad (1)$$

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

C'est le même résultat de l'étude d'un mouvement de chute libre vertical , se généralise de la façon suivante :

***Lors de la chute libre d'un mobile , le vecteur accélération  $\vec{a}_G$  de son centre d'inertie est égal au vecteur champ de pesanteur  $\vec{g}$ .***



# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On projette la relation vectorielle (1) dans le repère  $\mathcal{R}$  :  
à chaque instant  $t$  nous avons :

$$\vec{g} \begin{cases} 0 \\ -g \\ 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{a}_G \begin{cases} a_x = \ddot{x} = 0 \\ a_y = \ddot{y} = -g \\ a_z = \ddot{z} = 0 \end{cases}$$

Les trois équations représentent les équations différentielles du mouvement du projectile dans le repère  $\mathcal{R}$  .

$$\begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = 0 \\ \frac{d^2y}{dt^2} = -g \\ \frac{d^2z}{dt^2} = 0 \end{cases}$$

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 3. Équations horaires de mouvement

\* **Les coordonnées du vecteur vitesse :** Les coordonnées vecteur vitesse  $\vec{v}_G$  sont les primitives des coordonnées du  $\vec{a}_G$ . compte tenu des conditions initiales , nous obtenons :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \dot{x}_0 = v_0 \cos(\alpha) \\ \frac{dy}{dt} = \dot{y}_0 = -gt + v_0 \sin(\alpha) \\ \frac{dz}{dt} = \dot{z} = 0 \end{cases}$$

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Les coordonnées vecteur position  $\overrightarrow{OG}$  sont les primitives des coordonnées du  $\overrightarrow{v_G}$ . compte tenu des conditions initiales , nous obtenons :

$$\begin{cases} x(t) = v_0 \cos(\alpha) \cdot t + x_0 = v_0 \cos(\alpha) \\ y(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin(\alpha) \cdot t + y_0 = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin(\alpha) \cdot t \\ z(t) = z_0 = 0 \end{cases}$$

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Conclusion :

Nous déduisons de ces équations horaires trois résultats importants :

☞  $z = 0$  , la trajectoire du centre d'inertie est dans le plan vertical  $(Ox, Oy)$  contenant  $\vec{v}_0$

☞  $x(t) = v_0 \cos(\alpha).t$  ; le mouvement de la projection de G sur Ox est uniforme

☞  $y(t) = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_0 \sin(\alpha).t$  ; le mouvement de la projection de G sur l'axe Oy est uniformément accéléré .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

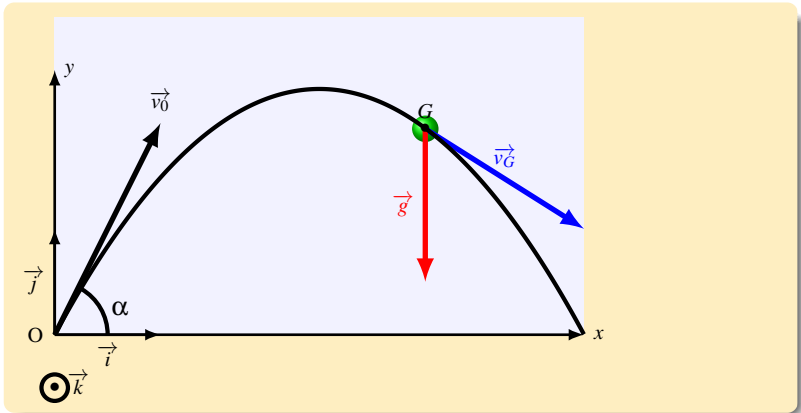
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 4. Équation de la trajectoire

Établir l'équation de la trajectoire dans le plan (xOy) consiste à exprimer y en fonction de x  $y = f(x)$ .

Il faut donc éliminer le paramètre temps t des équations horaires x(t) et y(t) :

$$t = \frac{x}{v_0 \cdot \cos(\alpha)}$$

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + \frac{v_0 \sin(\alpha)}{v_0 \cos(\alpha)} \cdot x$$

$$y = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2 + x \cdot \tan(\alpha)$$

Cette équation est de la forme  $y = A \cdot x^2 + B \cdot x$  est celle d'une parabole .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## conclusion

La trajectoire du centre d'inertie d'un projectile lancé avec un vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  de direction quelconque est une parabole située dans le plan vertical qui contient le vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  .

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### Remarque 1 :

On appelle portée de tir la distance entre le point de lancement O et le point d'impact P sur le plan horizontal contenant O .

On la calcule , c'est la valeur de x différent de 0 qui annule y , c'est à dire :

$$OP = x_P = \frac{2v_0^2 \sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}{g} = \frac{v_0^2 \sin(2\alpha)}{g}$$



# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Remarque 2 :

On appelle la flèche l'altitude maximale atteinte par G (position de F) .  
Au point FS le vecteur vitesse est horizontale  $y_F = 0$  , c'est à dire que :

$$\frac{dy}{dt} = -g.t_F + v_0 \sin(\alpha) = 0$$

$$t_F = \frac{v_0 \cdot \sin(\alpha)}{g}$$

d'où

$$y_F = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2.g}$$

# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

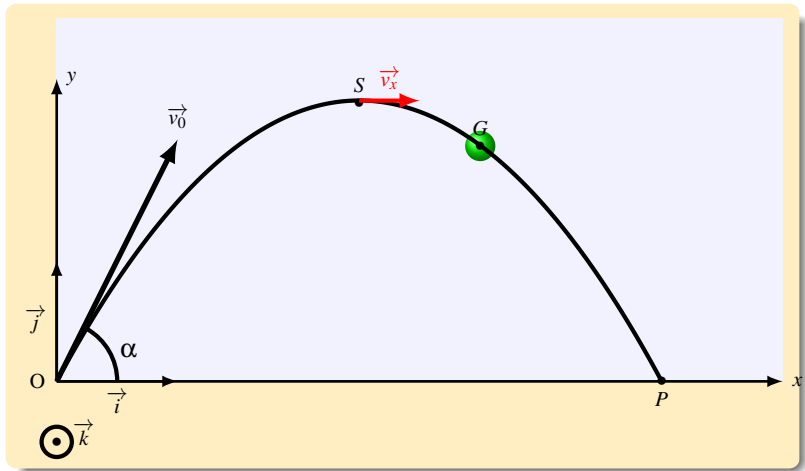
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# I. Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Application 1

Un athlète du saut longueur quitte le sol en faisant un angle  $\alpha = 22^\circ$  au dessus de l'horizontal et avec une vitesse  $v_0 = 11,0m/s$  . On prend  $g = 9,81m/s^2$

1. Jusque où saute-t-il dans la direction horizontal ? (la portée)
2. Quelle hauteur maximale atteint-t-il ? (flèche)

Réponse : 1. 7,94m ; 2. 0,722m

# II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements  
plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 1. Rappel sur le champ électrostatique $\vec{E}$

### a. Champ électrique :

Une particule chargée de charge  $Q$ , se trouvant dans le vide en un point  $O$ , crée en un point  $M$  de son voisinage un champ électrique de vecteur  $\vec{E}(M)$  .

Si on place une particule chargée de charge  $q$  en  $M$ , elle sera soumise à une force électrique  $\vec{F}$  telle que

$$\vec{E}(M) = \frac{\vec{F}}{q}$$

# II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## b. Ligne de champ :

On appelle ligne de champ toute courbe (ou droite ) à laquelle le vecteur champ électrique est tangent.

# II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## b. Ligne de champ :



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### c. Champ électrique uniforme :

Entre 2 plaques portées à des potentiels différents, il existe un champ électrique de vecteur  $\vec{E}$  tel que

- \* Direction perpendiculaire aux plaques
- \* le vecteur champ  $\vec{V}$  est dirigée vers les potentiels décroissants de A vers B ;  $V_A > V_B$  donc  $U_{AB} > 0$

\* Sa norme est donnée par la relation  $E = \frac{E}{d}$  où d est la distance qui sépare les deux plaques en (m) donc E en  $\text{V/m}$ .

Si  $q > 0$  (protons) alors  $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  sont dans le même sens.

Si  $q < 0$  alors  $\vec{F}$  et  $\vec{E}$  sont de sens opposés.

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements plans

allal Mahdade

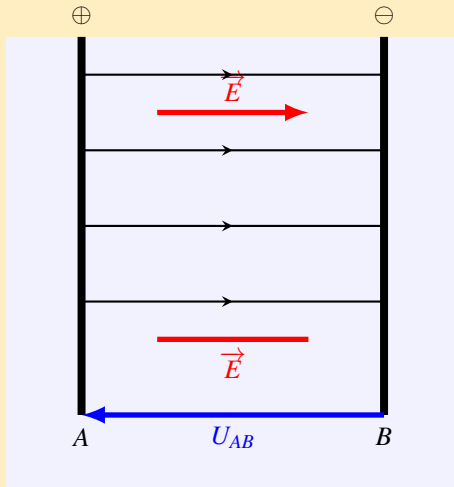
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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





# II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 2. mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme

Une particule chargée de masse  $m$  et de charge  $q < 0$ , placée dans un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  est soumise à l'action d'une force électrique  $\vec{F}$  tel que  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ . Le poids de la particule chargée étant négligeable devant  $\vec{F}$ .

On applique la deuxième loi de Newton à la particule en mouvement dans un repère terrestre supposé Galiléen.

On peut écrire :

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$\vec{a}$  le vecteur accélération de la particule en mouvement dans le champ électrique uniforme  $\vec{V}$

L'expérience montre que la trajectoire de la particule dépend de la direction de la vitesse initiale  $\vec{v}_0$  de la particule par rapport à celle de  $\vec{E}$ .

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

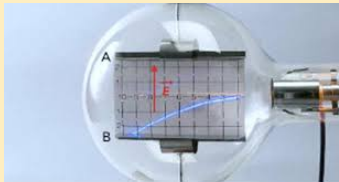
#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

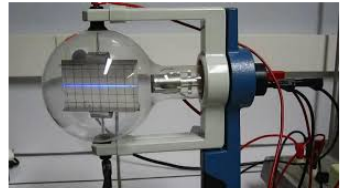
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



Cas  $\vec{E}$  perpendiculaire à  $\vec{v}_0$



Cas  $\vec{E} // \vec{v}_0$

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### a. Cas 1 : $\vec{v}_0$ est parallèle à $\vec{E}$

On suppose que la particule pénètre dans la zone où règne un champ électrique uniforme  $\vec{E}$  à la date  $t=0$  à la vitesse  $\vec{v}_0$  est parallèle à  $\vec{E}$ . D'après la deuxième loi de Newton nous avons :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m}$$

On projette cette relation vectorielle sur les axes du repère orthonormé  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j})$  lié au référentiel terrestre nous obtenons les coordonnées du vecteur accélération .

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements  
plans

allal Mahdade

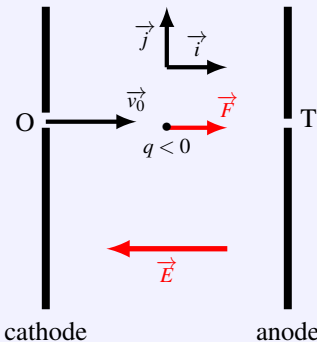
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = -\frac{qE}{m} \\ a_y = 0 \\ a_z = 0 \end{cases} ; \vec{v} \begin{cases} v_x = -\frac{qE}{m} \cdot t + v_0 \\ v_y = 0 \\ v_z = 0 \end{cases} ; \begin{cases} x(t) = -\frac{qE}{2m} \cdot t^2 + v_0 \cdot t \\ y(t) = 0 \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On en déduit qu'il n'y a pas de mouvement sur les axes Oy et Oz et que le mouvement se produit selon l'axe Ox , avec une accélération constante . Donc le mouvement est un mouvement rectiligne uniformément varié

Puisque le produit  $\vec{a} \cdot \vec{v} > 0$ , le mouvement de la particule dans le champ électrique uniforme est rectiligne uniformément accéléré.

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### Un cas particulier : canon à électron

La vitesse initiale  $\vec{v}_0$  est presque nulle , elle est considérer négligeable donc nous avons :

$$a_x(t) = \frac{e.E}{m} \quad v_x(t) = \frac{e.E}{m} . t \quad x(t) = \frac{1}{2} \frac{e.E}{m} . t^2$$

Avec quelle valeur de la vitesse, la particule (électron) sort-elle de l'orifice T ?

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements  
plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Réponse :

On applique le théorème de l'énergie cinétique à l'électron entre le point O et le point T :

$$\Delta E_C = W_{O \rightarrow T}(\vec{F})$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = e.U_{AC}$$

et puisque  $U_{AC} = E.d$  on a

$$v_T = \sqrt{\frac{2e.E.d}{m}}$$

La vitesse de l'électron à la sortie du champ électrique augmente avec son intensité E , dans ce cas le champ électrique se comporte comme accélérateur de particules .



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### b. Cas 2 : $\vec{v}_0$ est normal à $\vec{E}$

Une particule de charge  $q < 0$  entre en un point O dans un champ électrique uniforme avec une vitesse initiales  $\vec{v}_0$  perpendiculaire à  $\vec{E}$  .

\* Vecteur accélération :

Le vecteur accélération de la particule dans le champ  $\vec{E}$  dans un référentiel terrestre est :

$$\vec{a} = \frac{q \cdot \vec{E}}{m}$$

On utilise comme repère de projection , le repère  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  :

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements plans

allal Mahdade

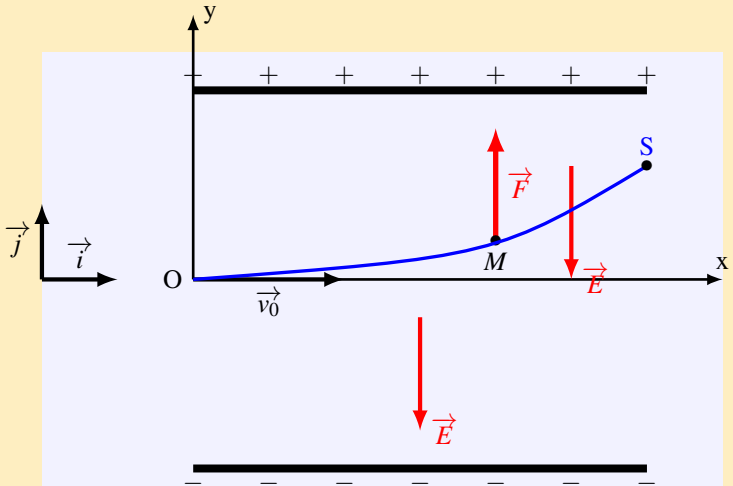
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

\* Les équations horaires :

Nous avons  $\vec{E} = -E \vec{j}$  d'où :

$$\vec{E} \begin{cases} E_x = 0 \\ E_y = -E \\ E_z = 0 \end{cases} ; \vec{a} \begin{cases} a_x(t) = 0 \\ a_y(t) = -\frac{qE}{m} \\ a_z(t) = 0 \end{cases} ; \vec{v} \begin{cases} v_x(t) = v_0 \\ v_y(t) = -\frac{qE}{m} . t \\ v_z(t) = 0 \end{cases} ; \vec{OM}$$

$$\begin{cases} x(t) = v_0 . t \\ y(t) = -\frac{qE}{2m} . t^2 \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

Selon l'axe Ox , le mouvement de la particule est rectiligne uniforme .

Selon l'axe Oy , le mouvement est rectiligne uniformément varié .

$z(t)=0$ , le mouvement de la particule se fait dans le plan xOy .

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements  
plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

\* Équation de la trajectoire :

En éliminant le temps  $t$  entre les deux équations  $x(t)$  et  $y(t)$  :

$$y(x) = -\frac{qE}{2mv_0^2} \cdot x^2$$

avec  $q < 0$

La trajectoire de la particule chargée dans le champ électrique est une portion de parabole .

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

\* La vitesse de la particule à la sortie du champ électrique :  $\vec{v}_S$   
Les coordonnées du point S sont :

$$\vec{OS} \begin{cases} x_S = l \\ y_S = -\frac{qE}{2v_0^2 m} \cdot l^2 \\ z_S = 0 \end{cases}$$

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

De même la date de passage de la particule par le point S est  $t = \frac{l}{v_0}$  , soit

$$\vec{v}_S \begin{cases} v_{Sx} = v_0 \\ v_{Sy} = -\frac{qE}{m} \cdot \frac{l}{v_0} \\ v_{Sz} = 0 \end{cases}$$

Le vecteur  $\vec{v}_S$  forme avec l'horizontal un angle  $\alpha$  appelé déviation angulaire , tel que :

$$\tan\alpha = \frac{v_{sy}}{v_{Sx}} = -\frac{qEl}{mv_0^2}$$

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements plans

allal Mahdade

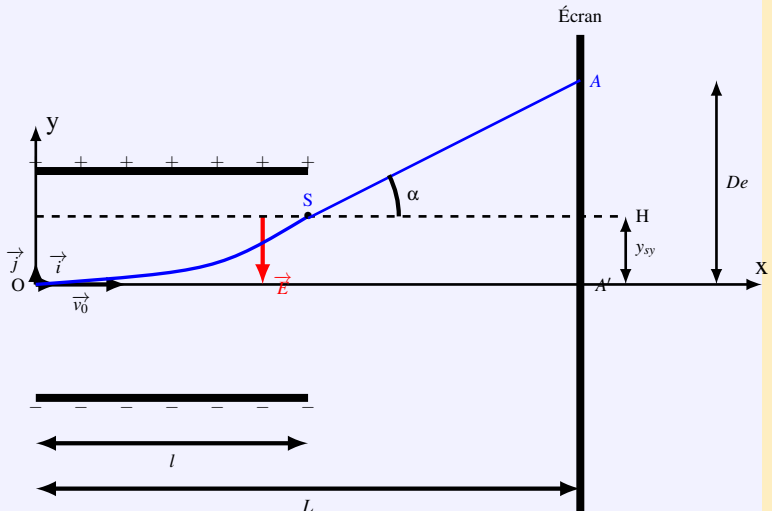
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### c. Déviation électrique

À la sortie du champ électrique , la particule n'est soumise qu'à l'action de son poids . En négligeant ce dernier , le mouvement de la particule est **rectiligne uniforme de vitesse**  $v_S$ . La particule heurte un écran fluorescent vertical perpendiculaire à l'axe Ox et situé du point O à la distance L .

C'est le principe **du tube cathodique** .



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements plans

allal Mahdade

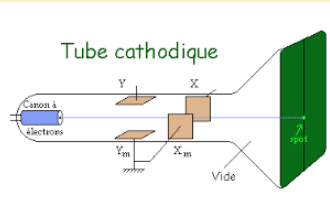
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On appelle  $D_e$  la déflexion électrique , c'est la distance entre le point d'impact  $A'$  de la particule avec l'écran en absence du champ électrique et le point d'impact  $A$  de la particule avec l'écran en présence du champ électrique .

$$D_e = A'A = A'H + HA$$

avec  $A'H = y_S$  et  $AH = (L - l)\tan\alpha$

$$D_e = y_S + (L - l)\tan\alpha$$

$$D_e = - \left( L - \frac{l}{2} \right) \cdot \frac{qEl}{mv_0^2}$$

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Sachant que  $E = \frac{U}{d}$  alors :

$$De = - \left( L - \frac{l}{2} \right) \cdot \frac{qUl}{mdv_0^2}$$

donc  $De = K.U$  avec  $K = - \left( L - \frac{l}{2} \right) \cdot \frac{ql}{mdv_0^2}$

La déflexion électrique est proportionnelle à la tension appliquée entre les plaques . Cette propriété est utilisée dans le principe de fonctionnement d'un oscilloscope

## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Mouvements plans

allal Mahdade

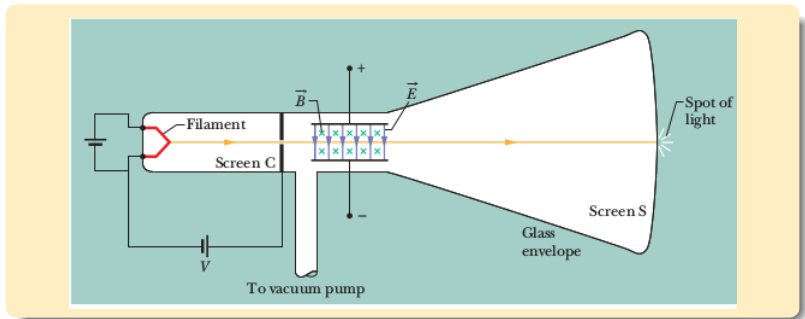
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### Application 2

Un électron pénètre en un point O dans un champ électrique avec une vitesse  $\vec{v}_0$  horizontale de valeur  $v_0 = 3,00 \times 10^6 m/s$  . Ce champ est réalisé entre deux armatures d'un condensateur plan horizontal entre lesquelles la tension  $U = 20V$  . Les armatures sont distantes de  $10cm$  et de longueur  $l = 10cm$ .

Déterminer :

1. L'accélération de l'électron dans ce champ électrique
2. La date et la position où l'électron quitte ce champ électrique

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 1. Les lois de Kepler

### a. Le référentielle héliocentrique .

Le référentielle Galiléen convenable pour l'étude des mouvement des planète autour du soleil est **le référentielle héliocentrique** . Son repère a pour origine le centre du soleil et ces axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines considérées comme fixes pendant la durée des observations .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Au début de XVII<sup>e</sup> siècle , en utilisant les résultats des observations de Tycho Brahe (1546-1601) , l'astronome Johannes Kepler (1571-1630) formule trois lois qui décrivent le mouvement des planètes autour du soleil.



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

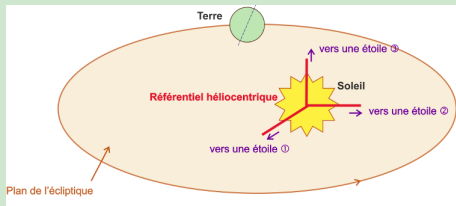
Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Première loi de Kepler : loi des trajectoires .

Dans un référentiel héliocentrique , la trajectoire du centre d'une planète est une ellipse dont le centre du soleil est l'un des foyers





## II. Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

### Mouvements plans

allal Mahdade

#### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

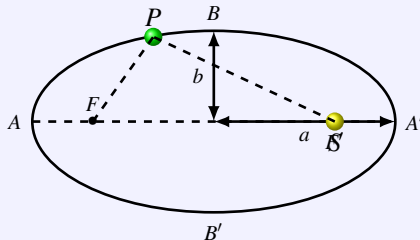
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

On rappelle quelques propriétés des ellipses :

$F$  et  $F'$  sont les foyers de l'ellipse .  $[AA']$  est son grand axe , il mesure  $2a$  et  $[BB']$  est son petit axe , il mesure  $2b$ .

Tout point  $P$  de l'ellipse vérifie la relation :

$$PF + PF' = 2a = Cte$$



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Deuxième loi de Kepler : loi des aires .

Le segment de droites reliant les centres de gravité de soleil et de la planète balaie des aires égales pendant des durées égales .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

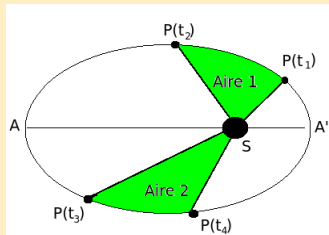
Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On considère une planète de centre d'inertie  $P$  en mouvement autour du soleil . Pendant la durée  $\Delta t = t_2 - t_1$   $P$  se déplace de la position  $P(t_1)$  à la position  $P(t_2)$  et le vecteur  $\vec{SP}$  a balayée une aire  $\mathcal{A}_1$



et pendant la même durée  $\Delta t = t_4 - t_3$   $P$  se déplace de la position  $P_3$  à la position  $P_4$  en balayant l'aire  $\mathcal{A}_2 = \mathcal{A}_1$  mais les distances parcourues par  $P$  sont différentes  $l_1 > l_2$  et par conséquent la vitesse moyenne de  $P$  n'est pas constante .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

$$v = \frac{l}{\Delta t} \implies v_1 > v_2$$

La vitesse devient donc plus grande lorsque la planète se rapproche du soleil .

☞ La vitesse est maximale en A' qui est le plus proche du soleil (périhélie)

☞ la vitesse est minimale en A qui est le plus éloigné du soleil (aphélie)

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## application 3

Montrer que si la trajectoire du centre d'une planète est un cercle , la valeur de la vitesse est constante au cours du mouvement .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### Solution :

Le rayon vecteur est dans ce cas , le rayon  $OP = r$  du cercle .

Pendant une durée  $\Delta t$ , P parcourt un arc de cercle de longueur  $l$  et le rayon  $OP$  tourne d'un angle  $\alpha = \frac{l}{r}$ . L'aire balayée par OP est

$$\mathcal{A} = \pi r^2 \times \frac{\alpha}{2\pi} = \frac{r \cdot l}{2}$$

Pour les durée  $\Delta t$  égales , l'égalité des aires implique l'égalité des distances  $l$  parcourues par P .

La vitesse est donc constante .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Troisième loi de Kepler : loi des périodes .

Le rapport du carré de la période de révolution  $T$  d'une planète autour du soleil au cube de demi - grand axe  $a$  de l'ellipse est constant .

$$\frac{T^2}{a^3} = Cte$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

La valeur de la constante est la même pour toutes les planètes du système solaire .

planète	T( $10^7 s$ )	a( $10^8 km$ )	$\frac{T^2}{a^3} (s^2/m^3)$
Vénus	1,94	1,08	$2,99 \times 10^{-19}$
Terre	3,16	1,50	$2,96 \times 10^{-19}$
Mars	5,94	2,28	$2,98 \times 10^{-19}$
Jupiter	37,4	7,780	$2,98 \times 10^{-19}$

La troisième loi de Kepler est bien vérifiée .



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### Remarque 1 :

Dans le cas des planètes dont la trajectoire est assimilable à un cercle de rayon  $r$  , la troisième loi de Kepler s'écrit :

$$\frac{T^2}{r^3} = Cte$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Remarque 2 :

Les lois de Kepler s'appliquent aussi à des satellites naturels ou artificiels en orbite autour d'une planète . Dans ce cas , c'est le centre de la planète qui est l'un des foyers de l'ellipse et le rapport  $\frac{T^2}{a^3} = Cte$  est le même pour les satellites en orbite autour d'une même planète . la valeur de la constante de la masse de planète .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 2. Caractéristiques d'un mouvement circulaire uniforme (rappel)

### a. Définition

Un mobile est en mouvement circulaire uniforme si sa trajectoire est un cercle et si la valeur de la vitesse de son centre d'inertie est constante .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On peut repérer la position du point G :

☞ Soit par l'abscisse angulaire  $\theta = \widehat{(\vec{OI}, \vec{OG})}$  qui se mesure par radian (rad)

☞ soit par l'abscisse curviligne :  $s = \widehat{IG} = r \cdot \theta$  où r est le rayon de la trajectoire circulaire . S'exprime en mètre (m)

$\theta$  et  $s$  sont des fonction du temps , donc ils présentent les équations horaires du mouvement .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

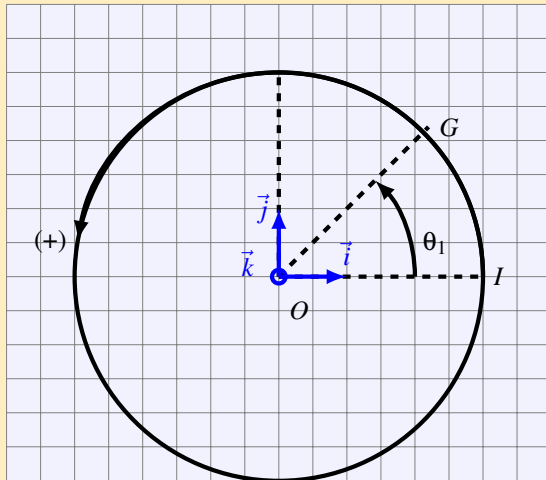
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### b. Le vecteur vitesse :

Le vecteur vitesse  $\vec{v}_G$  a pour caractéristique :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{direction : tangente au cercle} \\ \text{sens : celui de mouvement} \\ \text{valeur : } v_G = \frac{ds}{dt} (m/s) \end{array} \right.$$

Ce vecteur n'est pas constant : sa direction varie au cours du temps ; seule sa valeur est constante .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### Remarque :

Si on définit un vecteur unitaire  $\vec{u}$  orienté dans le sens positif sur tangente en G à la trajectoire, le vecteur vitesse s'écrit :

$$\vec{v}_G = \frac{ds}{dt} \cdot \vec{u}$$

Comme  $s = r \cdot \theta$  donc  $v = r \cdot \frac{d\theta}{dt} = r \cdot \omega$  ; où  $\omega$  est la vitesse angulaire , en rad/s

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

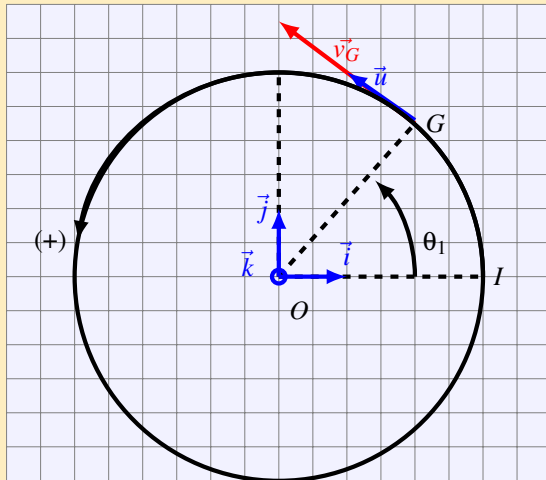
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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





# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## c. Le vecteur d'accélération :

Le vecteur accélération est le vecteur dérivée du vecteur vitesse :

$$\vec{a}_G = \frac{d\vec{v}_G}{dt}$$

Dans un repère de Frenet  $M(\vec{u}, \vec{n})$ , le vecteur accélération s'écrit :

$$\vec{a}_G = \vec{a}_T + \vec{a}_N$$

$$\vec{a}_G = \frac{dv}{dt} \vec{u} + \frac{v^2}{r} \vec{n}$$

Puisque  $v_G = Cte$  on a  $\frac{dv_G}{dt} = 0$  d'où :

$$\vec{a}_G = \frac{v^2}{r} \vec{n}$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Lorsque le centre d'inertie d'un solide est animé d'un mouvement circulaire uniforme , en tout point de la trajectoire :

$$\vec{a}_G = \frac{v^2}{r} \vec{n}$$

avec  $\vec{n}$  le vecteur unitaire centripète .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Le vecteur accélération dans le cas d'un mouvement circulaire uniforme a les caractéristiques suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{direction : normale à la trajectoire} \\ \text{sens : dirigé selon un rayon de la trajectoire} \\ \text{valeur : } a_G = \frac{v^2}{r} (m/s^2) \end{array} \right.$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

### d. Périodicité du mouvement :

La période de révolution T est égale à la durée d'un tour :

$$T = \frac{2\pi.r}{v}$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

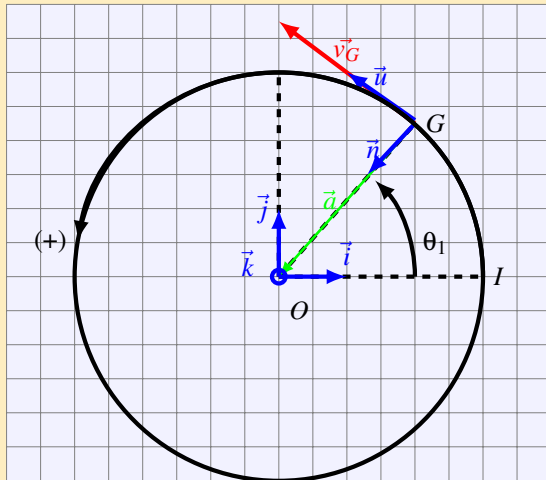
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 3. Application des lois de Newton

a. Rappelle de la loi de gravitationnelle universelle : Deux corps de masses  $m_A$  et  $m_B$  s'attirent ? Si ces corps ont une répartition de masse à symétrie sphérique et si la distance  $r$  entre leurs centres A et B est grande devant leur taille , les forces d'interaction gravitationnelle ont pour expression :

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \frac{m_A \cdot m_B}{r^2} \vec{u}_{AB}$$

$G$  est la constante de gravitation universelle :

$G = 6,67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$  et  $\vec{u}_{AB}$  est un vecteur unitaire de direction AB , orienté de A vers B .

$m_A$  et  $m_B$  en kg ;  $r$  en mètre (m) ;  $F_{A/B}$  et  $F_{B/A}$  en newton (N) .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

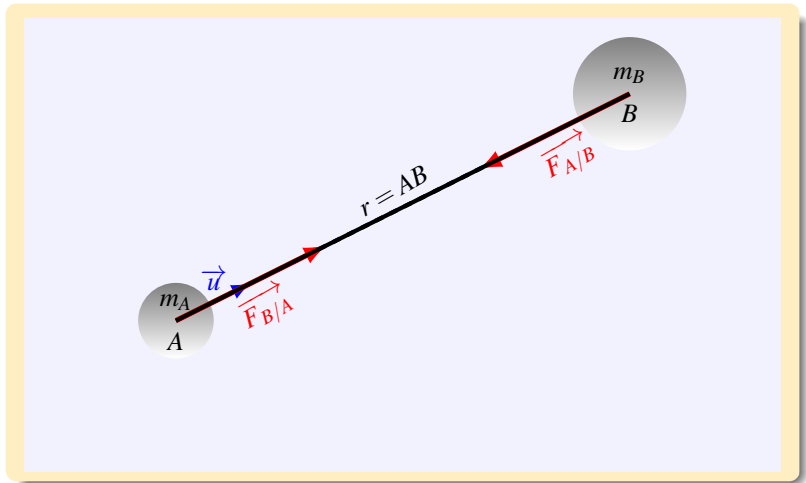
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## b. Étude du mouvement d'une planète autour du soleil

On étudie le mouvement d'une planète de centre d'inertie P , de masse  $m$  , en mouvement autour du soleil de masse  $s$  et de centre S .

On peut considérer que la planète et le soleil sont des corps à répartition sphérique de masse .

On choisit pour cette étude le référentiel héliocentrique qui est Galiléen .  
La seule force qui s'exerce sur la planète est la force d'attraction gravitationnelle exercée par le soleil :

$$\vec{F} = -G \frac{m.M}{r^2} \vec{u}_{SP}$$

$r$  est la distance SP .



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

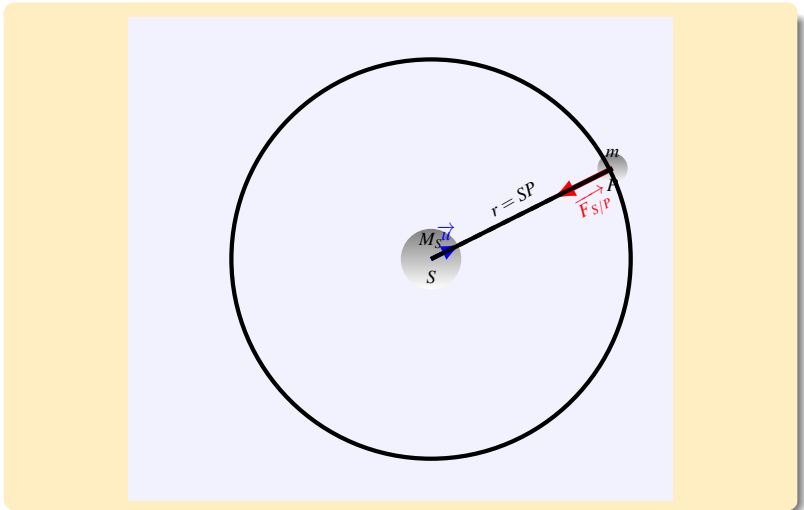
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On applique la deuxième loi de Newton à cette planète :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a}_P$$

Le vecteur accélération du centre d'inertie P de la planète est donc :

$$\vec{a}_P = -G \cdot \frac{M_S}{r^2} \vec{u}_{SP}$$

Le vecteur  $\vec{a}_P$  est donc radial .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On constate que  $\vec{a}_P$  et  $\vec{u}_{SP}$  ont même direction , c'est à dire que l'accélération est centripète ce qui montre que le mouvement du planète P est un mouvement circulaire uniforme . Donc

$$\vec{a}_P = \frac{v^2}{r} \vec{n} = -\frac{v^2}{r} \vec{u}_{SP}$$

$$\frac{v^2}{r} = G \frac{M_S}{r^2}$$

Donc la vitesse du centre de la planète est alors :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_S}{r}}$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

**Sa période de révolution est :**

$$T = \frac{2\pi \cdot r}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot M_S}}$$

On a donc

$$\boxed{\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_S} = Cte}$$

qui ne dépend pas de la planète étudiée / On retrouve la troisième loi de Kepler dans le cas d'une planète en mouvement circulaire uniforme autour du soleil .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Remarque :

Période de révolution d'une planète : c'est la durée d'un tour complet de son centre autour du soleil dans le référentiel héliocentrique ( le cas de la Terre , elle vaut  $365,25 \text{ jours}$  ).

La période propre d'une planète : c'est la durée d'un tour d'un point de la planète autour de son axe ( dans le cas de la Terre, elle vaut  $23\text{h}56\text{min}$  ) le jour sidéral .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## c. Étude du mouvement d'un satellite autour de la Terre .

On étudie un satellite en mouvement autour de la Terre .

**Le référentiel choisi est le référentiel géocentrique .**

La Terre de masse  $M_T$  exerce une force  $\vec{F}$  d'attraction gravitationnelle sur la satellite , de masse  $m$

$$\vec{F} = G \frac{m.M_T}{r^2} . \vec{n}$$

$\vec{n}$  est le vecteur unitaire normal dans la base de Frenet .  $r$  est la distance entre le centre de la Terre et le centre d'inertie de la satellite .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

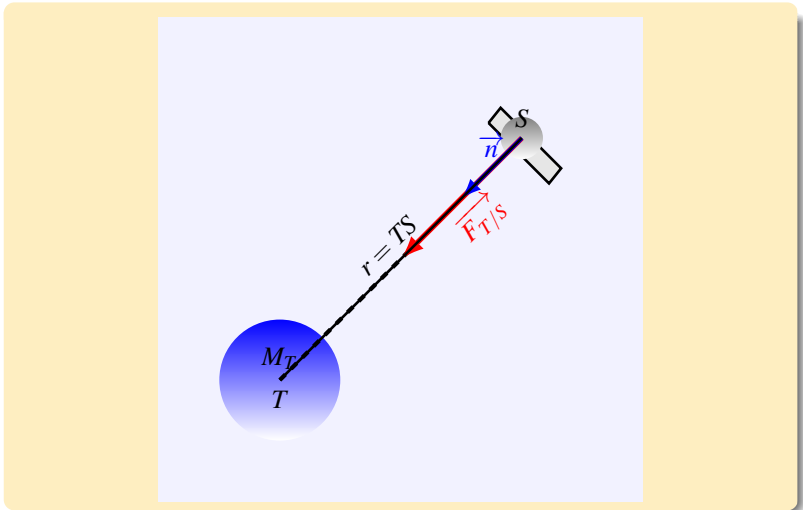
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On faisant la même étude que celle d'une planète autour du soleil , on montre que le mouvement du satellite **est un mouvement circulaire uniforme** .

**Les grandeurs caractéristiques du mouvement :**

☞ La vitesse du centre d'inertie du satellite :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_T}{r}} = \sqrt{\frac{G.M_T}{R+h}}$$

où R représente le rayon de la Terre et h l'altitude du satellite .



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

**Sa période de révolution est :**

$$T = \frac{2\pi \cdot (R + h)}{v} = 2\pi \sqrt{\frac{(R + h)^3}{G \cdot M_T}}$$

On a donc

$$\boxed{\frac{T^2}{(R + h)^3} = \frac{4\pi^2}{G \cdot M_T} = Cte}$$

La période et la vitesse ne dépendent pas de la masse du satellite , elles dépendent de son altitude .

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## d. La satellisation.

### Définition :

La satellisation consiste à mettre un satellite sur son orbite autour de la terre en lui communiquant une vitesse lui permettant d'avoir un mouvement circulaire .

Pour mettre sur orbite circulaire un satellite , il faut lui communiquer à l'altitude  $z$  une vitesse initiale perpendiculaire au vecteur position et dont la vitesse vérifie la relation :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_T}{R+z}}$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## e. Les satellites géostationnaires .

### Définition :

Un satellite géostationnaire s'il reste en permanence à la verticale d'un point de la Terre ; il est immobile pour un observateur terrestre (référentiel terrestre) .



# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Pour être stationnaire , un satellite doit satisfaire à plusieurs conditions :  
Dans un référentiel géocentrique :

- \* il doit décrire un cercle dans un plan perpendiculaire à l'axe des pôles .  
Or le plan de la trajectoire contient le centre de la Terre , donc ce plan est nécessairement celui qui contient l'équateur terrestre .

- \* Le sens du mouvement doit être le même que celui de la rotation de la Terre autour de l'axe des pôles .

- \* sa période de révolution doit être égale à la période de rotation propre de la Terre :  $T_0 = 1 \text{ jour sidéral} = 23h56min = 86160s$

Pour que ce condition soit satisfait il faut que la satellite évolue à une altitude bien déterminée :

$$h = \sqrt[3]{\frac{T^2 \cdot G \cdot M_T}{4\pi^2}} - R$$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## exercice d'application 4

Calculer les valeurs de la vitesse et de la période de révolution de la station orbitale (ISS) dans son orbite circulaire autour de la Terre à l'altitude  $z = 400km$

# III. Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

**Solution :**

$$v = \sqrt{\frac{G.M_T}{(R+z)^2}} = 7670m/s = 2,76.10^3 km/h$$

$$T = 5554s = 1h33min$$

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 1. Influence d'un champ magnétique sur un faisceau d'électrons

### Expérience :

Lorsqu'on approche un aimant droit à un faisceau d'électron produit dans un tube de Crookes , on observe la déviation de du faisceau . Même observation si on remplace l'aimant par un solénoïde ou les bobines de Holmotez parcouru par un courant électrique .

Le sens de déviation du faisceau s'inverse lorsqu'on inverse les positions des pôles de l'aimant ou le sens du courant dans le solénoïde .

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

Mouvements  
plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



on approche un aimant droit à un faisceau d'électron



bobines de Holmotez parcourues par un courant électrique .



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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On conclue que dans les deux expériences, que **le champ magnétique** crée soit par l'aimant ou par le courant qui traverse le solénoïde provoque **une action mécanique** sur le faisceau d'électrons dans le tube à vide . On associe à cette action mécanique une force appelée **force magnétique** .  
**Qu'elles sont les caractéristiques de la force magnétique exercées sur les électrons ?**

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 2. Force magnétique

### a. Relation de Lorentz :

Nous admettons que la force  $\vec{F}$  exercée sur un porteur de charge  $q$ , animé d'une vitesse  $\vec{v}$  et placé dans un champ magnétique  $\vec{B}$  est donnée par la relation vectorielle suivante :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$$

Cette relation dite de Lorentz, fait intervenir un produit vectoriel.  $\vec{F}$  est appelée **force magnétique de Lorentz**.

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

Mouvements  
plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## b. Caractéristiques de la force magnétique de Lorentz .

Le produit vectoriel de  $q \cdot \vec{v}$  et  $\vec{B}$  permet de déterminer les caractéristiques de  $\vec{F}$  .

- \* Point d'application : la particule supposée ponctuelle
- \* Direction : La perpendiculaire au plan défini par  $\vec{v}$  et  $\vec{B}$  i.e  $\vec{F}$  est à la fois perpendiculaire à  $\vec{v}$  et à  $\vec{B}$
- \* Sens : Défini par le trièdre direct  $(q \cdot \vec{v}, \vec{B}, \vec{F})$
- \* Intensité :  $F = |q \cdot v \cdot B \cdot \sin(\vec{v}, \vec{B})|$

Avec  $q$  la charge de la particule en (C) ,  $v$  la vitesse de la particule (m/s),  $B$  l'intensité du champ magnétique (T) et  $F$  l'intensité de la force de Lorentz .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

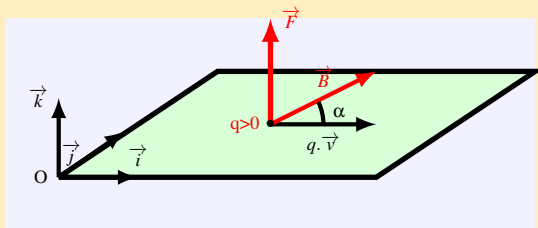
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



Dans notre étude on néglige le poids de la particule chargée devant la force magnétique .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

3. Énergie cinétique d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

**Un champ magnétique est uniforme** , si en tout point de la zone d'espace où règne ce champ, le vecteur  $\vec{B}$  est constant .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Une particule chargée mobile dans un champ magnétique uniforme est soumise à la force de Lorentz  $\vec{F}$  qui toujours perpendiculaire au vecteur vitesse  $\vec{v}$  de la particule ; donc le produit scalaire  $\vec{F} \cdot \vec{v}$  est nul i.e que :

$$\mathcal{P} = \vec{F} \cdot \vec{v} = 0$$

La puissance de la force de Lorentz est nulle et par conséquence

$$\mathcal{P} = \frac{dE_c}{dt} = 0, \text{ donc}$$

$$E_c = Cte$$

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

L'énergie cinétique d'une particule chargée mobile dans un champ magnétique uniforme ne subissant que l'action seule de la force de Lorentz est constante ; le mouvement de la particule donc est uniforme .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 4. Étude du mouvement de la particule

On fait l'étude du mouvement d'une particule chargée et on le généralise sur le mouvement d'un faisceau d'électron car tous les électrons sont identiques .

On considère le mouvement d'une particule chargée en mouvement dans un champ magnétique uniforme dont le vecteur  $\vec{B}$  est orthogonal au vecteur vitesse  $\vec{v}_0$  de la particule .



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

## Mouvements plans

allal Mahdade

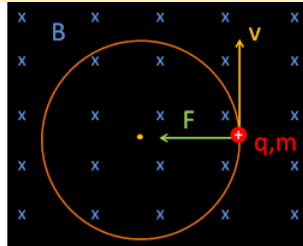
### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



vecteur champ est orthogonal au vecteur vitesse

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

On choisit le référentiel de laboratoire , supposé Galiléen lié à un repère orthonormal  $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ .

Dans ce repère on a :  $\vec{B} = B \cdot \vec{k}$  et  $\vec{v}_0 = v_0 \vec{j}$

La particule de charge  $q < 0$  pénètre dans le champ magnétique en O à  $t=0$  .

Cette particule est soumise seulement à la force  $\vec{F} = q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B}$

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## a. le vecteur accélération

On applique la deuxième loi de Newton :

$$q \cdot \vec{v} \wedge \vec{B} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{q}{m} (\vec{v} \wedge \vec{B}) \quad (1)$$

Le vecteur accélération est perpendiculaire à  $\vec{v}$  et à  $\vec{B}$ .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## b. La nature du mouvement

Si on multiplie les deux membres de l'équation vectorielle (1) par le vecteur unitaire  $\vec{k}$

$$\vec{a} \cdot \vec{k} = \frac{q}{m} (\vec{v} \wedge \vec{B}) \cdot \vec{k} = 0$$

car  $\vec{B}$  est perpendiculaire à  $\vec{k}$ .

Donc  $\vec{a} \cdot \vec{k} = \vec{0} \implies \ddot{z} = 0$  et par intégrations successives et en tenant compte des conditions initiales, on trouve  $\dot{z} = 0$  et  $z = 0$  **le mouvement de la particule se fait dans le plan (Ox,Oy) orthogonal à  $\vec{B}$ . Sa trajectoire est donc plane.**

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Quelle est la nature de la trajectoire ?

On utilise la base de projection de Frenet  $(M, \vec{u}, \vec{n})$  où on exprime les composantes du vecteur accélération .

$$\vec{a} = \vec{a}_T + \vec{a}_N$$

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \vec{u} + \frac{v^2}{\rho} \vec{n}$$

$\rho$  le rayon de courbure de la trajectoire .

Puisque  $v = Cte = v_0$  donc  $\frac{dv}{dt} = 0$  .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Donc la relation (1) s'écrit :

$$\frac{v_0^2}{\rho} \cdot \vec{n} = \frac{q}{m} (\vec{v} \wedge \vec{B}) = \frac{q}{m} v_0 B \cdot \sin(\vec{v}, \vec{B}) \cdot \vec{n}$$

$$\frac{v_0^2}{\rho} = \frac{|q| v_0 B}{m}$$

$$\boxed{\rho = \frac{m \cdot v_0}{|q| \cdot B}}$$

Le rayon de courbure de la trajectoire est constant : **la trajectoire est donc circulaire .**

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

Mouvements plans

allal Mahdade

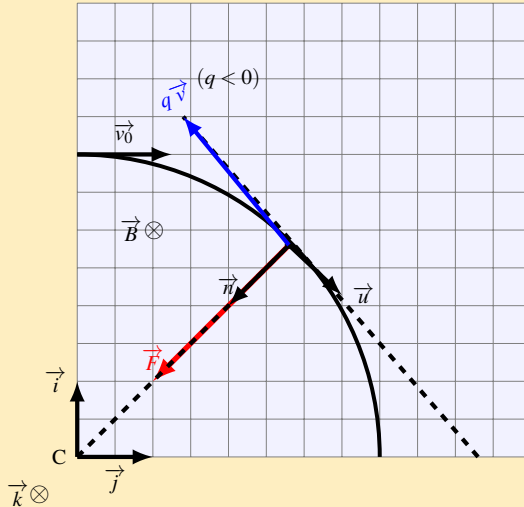
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

Une particule chargée de charge  $q$  et de masse  $m$  pénétrant dans un champ uniforme d'intensité  $B$  avec une vitesse  $\vec{v}_0$  orthogonale au champ a un mouvement circulaire uniforme . Cette trajectoire circulaire est située dans un plan orthogonal au champ et son rayon vaut :

$$r = \frac{mv_0}{|q|.B}$$



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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## 5. Déflexion magnétique

Le faisceau d'électrons pénètre en O dans une région de largeur  $l$  où règne un champ uniforme  $\vec{B}$ , est dirigé suivant  $OO'$ . Dans le champ magnétique, les particules décrivent un arc de rayon  $r = \frac{mv_0}{|q|.B}$  et sortent du champ au point S en décrivant un mouvement rectiligne uniforme selon la tangente en S à la trajectoire circulaire. En arrivant au point P sur l'écran E perpendiculaire à  $OO'$  et situé à la distance L du point O. On appelle  $D_m = O'P$  la déflexion magnétique.

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

Mouvements plans

allal Mahdade

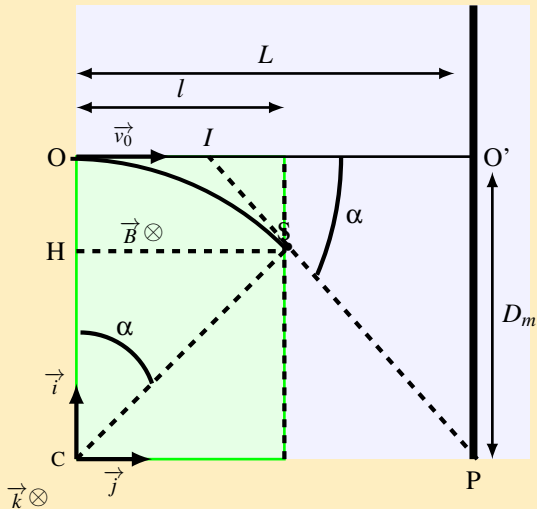
Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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



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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

La déviation angulaire  $\alpha = \widehat{(\vec{CO}, \vec{CS})}$  est donnée par  $\sin\alpha = \frac{l}{r}$  ou

$$\tan\alpha = \frac{O'P}{IO'} = \frac{D_m}{L - OI}$$

Dans le dispositif utilisé ,  $\alpha$  est petit , la distance  $OI$  est très inférieure à  $L$  . ainsi que  $\sin\alpha \simeq \alpha$  avec  $\alpha$  en rad .

$$\frac{l}{r} = \frac{D_m}{L} \text{ . Soit } D_m = \frac{L.l}{r}$$

ou encore :

$$D_m = \frac{|q|.L.l}{mv_0^2} . B$$

La mesure de  $D_m$  permet de calculer le rapport  $\frac{|q|}{mv_0}$  .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

La déflexion magnétique est , dans ces conditions , proportionnelle à l'intensité du champ magnétique .

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

Mouvements plans

allal Mahdade

Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

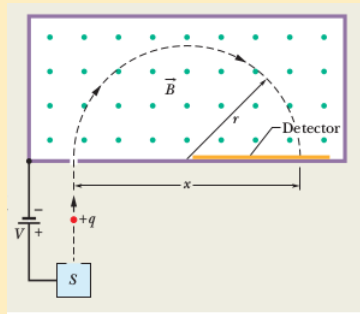
Mouvement d'une particule chargée dans un champ magnétique uniforme .

## 6. Application

### a. Spectromètre .

Un spectromètre de masse est un appareil qui permet de trier des ions de masses ou de charges différentes par utilisation d'un champ magnétique et d'un champ électrique .

Voir exercices .



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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

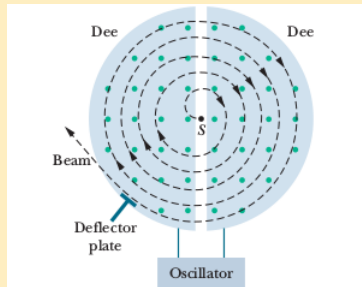
Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## b. Le cyclotron .

Un cyclotron est un accélérateur de particules ; il comporte deux boîtes semi cylindrique appelées dees , dans lesquelles on maintient un vide très poussé. Ces boîtes sont placées horizontalement dans un champ magnétique uniforme vertical crée par de puissants électroaimant .

Entre ces dées , un oscillateur produit une tension alternative de période  $T$  égale à la période cyclotron des ions à accélérer (durée mise par les ions pour accomplir un tour complet dans les deux dees) Voir exercices .



**Figure 28-13** The elements of a cyclotron, showing the particle source  $S$  and the dees. A uniform magnetic field is directed up from the plane of the page. Circulating protons spiral outward within the hollow dees, gaining energy every time they cross the gap between the dees.

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Application 4

Des particules  $\alpha$  (noyaux d'hélium  ${}^4_2\text{He}^{2+}$ ) de masse  $m = 6,64 \times 10^{-26} \text{kg}$  et de charge  $q = +3,2 \times 10^{-19} \text{C}$  pénètrent avec une vitesse  $\vec{v}$  de module  $v = 2 \times 10^6 \text{m/s}$  dans une région où règne un champ magnétique  $\vec{B}$  uniforme orthogonal à  $\vec{v}$ . Elles décrivent alors une trajectoire circulaire de rayon  $r = 42 \text{cm}$

1. Calculer la valeur du champ  $\vec{B}$
2. Calculer la période et la fréquence de rotation .

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

## Mouvements plans

allal Mahdade

### Introduction

Quelle est le mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur ?

Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme .

Quel est le mouvement des planètes et des satellites ?

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

## Réponse

1. Le rayon de la trajectoire est :  $r = \frac{m.v}{|q|.B}$ , d'où  $B = \frac{m.v}{|q|.r}$

$$B = 9,9 \times 10^{-2} T$$

2. La période de rotation :  $T = \frac{2.\pi.m}{|q|.B} = 1,3 \times 10^{-6} s$

La fréquence  $N = \frac{1}{T} = 7,6 \times 10^5 Hz$