

LPB-Gravitation et Poids

Niveau : Terminal S

Prérequis

- * Principe fondamental de la dynamique
- * Notion de champs
- * Principes des actions réciproques
- * Etude des trajectoires circulaires (accélération normale et tangentielle)
- * Norme d'un vecteur
- * Expression du poids
- * Intégration de fonctions
- * Période

(Possible de sauter la partie I - abordée en 1^{re})

Bibliographie

- * Physique chimie T^S - Dubouat

Expérience : Mesure de g par chute libre.

Introduction Pédagogique

- * Ce cours se place dans la partie "Observer" du programme de terminal S.
- * C'est un cours qui vient en fin de cycle car il nécessite de restituer un grand nombre de connaissances.
- * Ce cours vient après un cours sur les différents types de trajectoire que l'on rencontre, et leurs liens avec la vitesse et l'accélération.
- * On considérera que les élèves maîtrisent le principe fondamental de la dynamique ainsi que l'étude des trajectoires.
- * La notion de champ étant abordée en première, on suppose que l'élève est familier avec cette notion.
- * Dans ce cours on va essayer de modéliser et d'expliquer avec des outils de la physique des phénomènes que les élèves connaissent déjà : le poids et la gravitation des planètes.
- * Comme ce sont des phénomènes que les élèves connaissent, pour rendre la compréhension plus facile on va essayer d'utiliser au maximum des exemples, des animations et des expériences pour illustrer le propos.
- * Les difficultés de ce cours sont surtout mathématiques, en effet même si les élèves savent intégrer une fonction, il va ici falloir le faire sur des systèmes à 3 dimensions.
 - ↳ on appliquera une méthode systématique par que l'élève puisse s'en sortir à chaque fois.
- * On s'appliquera bien à revenir aux situations physiques par que l'élève puisse se raccrocher à quelque chose sur des calculs qui peuvent être abstraits.
- * TD : Calcul de la trajectoire par une chute libre non verticale.
 - ↳ angle pour maximiser la distance
- * TP : Étude de la chute libre avec et sans frottements $\Rightarrow$ mise en évidence d'une vitesse limite
- * Doc Étude des lois de Kepler.

Introduction

- * Bonjour à tous, le titre de la leçon du jour est Gravitation et poids
- * Ce sont des termes qui parlent à tout le monde, mais on ne sait pas vraiment physiquement ce que c'est et quel est le lien?
- * Mais il faut faire attention parce que dans le langage comment il y a pleins d'abus
- * Exemple: Si je lâche ma gomme: elle tombe
↳ elle a une accélération, donc elle subit une force.
- * Poids: c'est une force qui s'applique sur un objet qui a une masse
- * Masse: propriété intrinsèque d'un corps.

objectif: Comprendre l'origine du poids et de la gravitation, et savoir s'en servir par étudier des projectiles.

Transition: Comment on explique que la gomme tombe?

I - Interaction Gravitationnelle

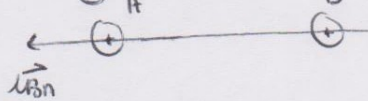
A - Force gravitationnelle

* La force qui s'applique sur l'objet que je vient de lâcher, ou même celle qui s'applique sur moi et qui fait que je reste au sol c'est le poids

* Mais en fait le poids vient d'une force encore plus générale qui est la force gravitationnelle.

* C'est une force qui est toujours présente et qui s'applique entre 2 objets.

↳ projection schéma



* Ici l'objet B exerce une force sur l'objet A, et A exerce une force sur B

cette force vaut:

$$\vec{F}_{BA} = -G \cdot \frac{m_A \cdot m_B}{d_{AB}^2} \vec{u}_{BA}$$

Annotations: 'kg' above m_B , 'N' below $\vec{F}_{BA}$, 'm' below d_{AB}^2 .

• Analyse dimensionnelle : $[G] = \text{N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$
 $= \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2 = \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$

• G est la constante de gravitation universelle: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$

• Le signe $\ominus$ indique que cette force est attractive

• Elle décroît en $1/d^2 \Rightarrow$ loin de tout on ne ressent aucune force

↳ zéro gravité dans l'espace (projection)

* On peut la calculer :

• entre 2 personnes de 80 kg à 2m : $\|\vec{F}\| = -6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{80^2}{2^2} = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ N}$

• entre 1 personne et la Terre : $\|\vec{F}\| = -6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{80 \times 5,97 \cdot 10^{24}}{(6,37 \cdot 10^6)^2} = 795 \text{ N}$

↳ L'attraction entre 2 personnes est négligeable par rapport à celle de la Terre

Transition : On a dit que le poids venait de la force gravitationnelle, mais comment est-ce que je peux retrouver l'expression qu'on connaît ?

B. Le poids

* Force: $\vec{F} = -G \frac{m_A m_B}{d^2} \vec{u}_{AB}$

* A la surface de la Terre, on a vu que la force prédominante est celle de la Terre sur une personne

↳ on va essayer de la relier à ce qu'on connaît.

• $m_{\text{Terre}} = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ $r_{\text{Terre}} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$

$$\Rightarrow \|\vec{F}\| = + 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{5,97 \cdot 10^{24}}{(6,37 \cdot 10^6)^2} m = G' \cdot m$$

↳ Analyse dimensionnelle: $[G'] = [G \text{ m/r}^2] = \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

* On obtient $\vec{F} = m \cdot \vec{G}'$, c'est très proche de $\vec{p} = m \vec{g}$

↳ avec $\vec{g}$ le champ de pesanteur. la force crée en tout point de l'espace par la terre

* Localement on a bien $\vec{F} = \vec{p}$ et donc $\vec{G}' = \vec{g}$ (Slide)

↳ On retrouve bien $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ au niveau de la mer.

* Là on voit que le champ dépend de la planète

↳ Est-ce que Tintin a raison?

• Par la lune: $m_{\text{lune}} = 7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ $r_{\text{lune}} = 1,74 \cdot 10^6 \text{ m}$

$$\hookrightarrow \|\vec{F}_{\text{lune}}\| = + 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{7,35 \cdot 10^{22}}{(1,74 \cdot 10^6)^2} m = 1,62 \cdot m$$

$$\Rightarrow \frac{\|\vec{F}_{\text{Terre}}\|}{\|\vec{F}_{\text{lune}}\|} = \frac{9,81 \text{ m}}{1,62 \text{ m}} = 6,06 \Rightarrow \text{Tintin a raison!}$$

Transition: On sent qu'un objet que je lâche va tomber, à cause des poids, mais ce qui serait bien ce serait de pouvoir étudier son mouvement.

II - Etude du mouvement

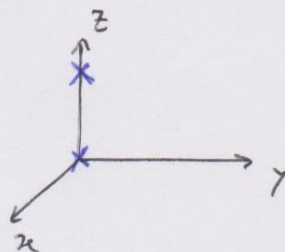
A - La chute Libre

* On se place dans le ref du labo : Galiléen

* Systeme: Gomme que je lâche

* Forces: $\vec{F} = \vec{p} = m\vec{g}$

Schema Tableau



PF2: $m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} = -mg\vec{u}_z$

* En projetant:

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} v_x = \alpha \\ v_y = \beta \\ v_z = -gt + \gamma \end{cases}$$

$$\vec{v} = \vec{0} \longrightarrow \begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 0 \\ v_z = -gt \end{cases}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} x = a \\ y = b \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + c \end{cases}$$

$$\xrightarrow{z=z_0} \begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + z_0 \end{cases}$$

* On peut voir que la gomme va tomber et toucher le sol

↳ ça ne dépend pas de la masse de l'objet

↳ cf video à 2:50

* Dans la vidéo la chute se fait dans le vide, dans la vie on sait que la balle de bowling tombe plus vite

↳ c'est parce qu'il y a des frottements

↳ cf animation frottements

* Sur l'animation on peut aussi illustrer l'effet du vent sur la lune.

↳ cf animation lune

Transition : Si on prend un objet suffisamment petit on peut négliger les frottements, et on devrait pouvoir mesurer g .

C. Mesure expérimentale de g

* On a un système ici on va pouvoir lâcher une bille et ça va déclencher des chronomètres qui s'arrêteront quand la bille passera devant les capteurs.

* Comme on l'a vu avec le PFD :

$$\frac{dv}{dt} = g \approx \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = g$$

* On va donc mesurer des temps et remonter à v avec la relation $v = d/t$

* ~~Expériences avec incertitude de type A.~~ Vidéo EPFL. @présentat dispositif

* On relève les valeurs

$$h_1 = 0.1 \text{ m} \leadsto t_1 = 0.1431 \text{ s}$$

$$h_2 = 0.5 \text{ m} \leadsto t_2 = 0.3184 \text{ s}$$

$$h_3 = 1.0 \text{ m} \leadsto t_3 = 0.4509 \text{ s}$$

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow v_{12} &= \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} = 2.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ \Rightarrow v_{32} &= \frac{h_3 - h_2}{t_3 - t_2} = 3.77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned} \right\} g = \frac{v_{32} - v_{21}}{\frac{t_3 + t_2}{2} - \frac{t_2 + t_1}{2}} = 9.68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

* Il faudrait évaluer les incertitudes pour avoir un meilleur résultat, et faire plusieurs mesures

Transition : Faisons une expérience de pensée qui est le boulet de canon de Newton :

↳ Animation

↳ On peut décrire les objets qui gravitent autour du soleil de cette façon

III - Les mouvements des astres

A - Description du mouvement

* On va étudier le mouvement d'un satellite en orbite autour de la Terre

↳ cf image.

* Ref: géocentrique galiléenne

* Système: Satellite

* Force: Gravitationnelle: $\vec{F} = -G \frac{m_s m_T}{r^2} \vec{u}_{TS}$

* PFD: $m_s \vec{a} = \vec{F} \Rightarrow \boxed{\vec{a} = -G \frac{m_T}{r^2} \vec{u}_{TS}}$

* Par un mouvement circulaire: $\vec{a}_T = \frac{dv}{dt} \vec{t} \quad \vec{a}_N = \frac{v^2}{r} \vec{n} = -\frac{v^2}{r} \vec{u}_{TS}$

↳ projection repère

$$\Rightarrow \begin{cases} dv/dt = 0 & \Rightarrow \text{mvt uniforme} \\ \frac{v^2}{r} = +G \frac{m_T}{r^2} & \Rightarrow v = \sqrt{G m_T / r} \end{cases}$$

↳ on voit que la vitesse ne dépend que de la masse de l'astre et de la distance du satellite à l'astre.

↳ En fait la trajectoire dépend de la vitesse initiale

↳ cf balle de canon

↳ cf image des trajectoires

Transition: On connaît la vitesse et la trajectoire d'un satellite autour de la terre, mais est-ce qu'on peut trouver des propriétés sur ces trajectoires?

B- Les lois de Kepler

* On connaît la vitesse et la longueur d'un tour :

↳ on peut déterminer le temps que va mettre le satellite à faire un tour

⇒ on l'appelle la période de révolution.

$$* T = \frac{d}{v} = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi r}{\sqrt{\frac{GM}{r}}} = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$$

$$\Rightarrow 3^{\text{eme}} \text{ loi de Kepler : } \frac{T^2}{r^3} = \text{cte}$$

↳ On peut le généraliser par une ellipse : $\frac{T^2}{a^3} = \text{cte}$ avec a : demi grand axe
↳ projo

* La première loi : c'est à quoi on a parlé avant

↳ trajectoire des planètes est une ellipse avec le soleil par foyer

* La seconde loi : l'aire balayée dans l'ellipse est égale sur des durées égales

↳ projo + animations.

Conclusion : Dans ce cours on a vu que deux objets exercent toujours

une force l'un sur l'autre.

• Sur Terre ça nous donne le poids ⇒ chute libre

• Dans l'espace : ça donne le mouvement des planètes