

LP 13 : Gravitation et poids

Élément imposé : Vignette de tinton, chute libre, mesure de g , loi de Kepler, mouvement des astres, aspect énergétique, tir balistique

Niveau : TS

Prérequis :

- Maths : vecteurs, repère et intégrales (TS)
- Force, caractéristique d'une force : direction, sens, point d'application, valeur) (2nd)
- Interactions fondamentales (1^{ere} S)
- champ vectoriel, champ de pesanteur (1^{ere} S)
- Notion de poids (2nd)
- Référentiel galiléen (TS)
- Description du mouvement (position, vitesse, accélération), Lois de Newton (TS)
- Mouvement circulaire uniforme (expression de l'accélération) (TS)
- Énergie cinétique et de pesanteur (1^eS)
- Analyse dimensionnelle, incertitudes (TS)

Biblio :

Hachette TS, Hachette 1^{ere} S, Hachette seconde

Intro pédagogique :

Notion à cheval entre 2 niveaux :

- 1^e S : champ et forces
- TS : théorème de la mécanique et étude de mouvement

La notion de champ a déjà été introduite avec des exemples simples

Avant ce cours : introduction du PFD

Difficultés : Norme/ vecteur, difficultés mathématiques, relié les situations concrètes au maths → détailler les calculs, expliquer comment les expressions permettent bien de rendre compte d'une situation (on vérifie que pour $x = \text{tant}$ on a bien $y = \text{tant} \dots$)

Attention différences poids et masse, utilisation de ce vocabulaire souvent erronée dans la vie de tous les jours.

Choix : On se limite à l'étude d'une chute libre sans vitesse initiale pour introduire les notions

TD : Chute avec vitesse initiale, pendule, balistique

TP : chute libre ou pendule, pointage vidéo.

Cours suivant : Frottement, Kepler (en fonction du plan choisi)

Introduction

Si on lâche un stylo → il tombe vers le sol → Interaction fondamentale : la gravitation.

<https://www.youtube.com/watch?v=vb2GDgTGa3g>

Questions : Pourquoi le marteau et la plume tombe en même temps ? Est-ce que ça serait la même chose sur Terre ?

Objectifs :

- Relier la loi de l'interaction gravitationnelle au champ de pesanteur
- Faire l'étude d'un mouvement soumis à la gravitation à la surface d'un astre

I. Une interaction fondamentale : la gravitation

A. La loi de l'attraction gravitationnel

Formuler par Newton en 1687, mais il ne la valida qu'en 1682

Schéma : force exercée par A sur B

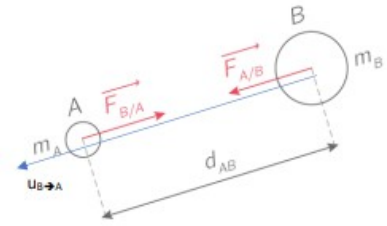
Point d'application en B

Direction AB

Sens de B vers A

Norme $|F| = \frac{m_A m_B G}{r^2}$ avec $G = 6,6 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2 \text{ kg}^{-2}$ ou $\text{kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$

Loi de l'interaction gravitationnelle : $\vec{F}_{A/B} = \frac{-m_A m_B G}{r^2} \vec{u}_{AB}$



Transition : L'interaction créée par A autour de lui peut être décrit par un champ.

B. Champ de gravitation et poids

Rappel : champ = grandeur physique (vectorielle ou scalaire) associée à chaque point de l'espace.

Slide

Dans la force, le terme $\frac{-m_A G}{r^2} \vec{u}_{AB}$ ne dépend que de A et de la position de B

On définit le champ de gravitation exercé par A en un point de l'espace par : $\vec{G}(r) = \frac{-m_A G}{r^2} \vec{u}_r$

AN : A la surface de la lune : $r_L = \text{rayon de la lune}$, $G(r_L) = 1,62 \text{ N.kg}^{-1}$ (Schéma)

A la surface de la Terre : $G_t(r_t) = 9,81 \text{ N.kg}^{-1} = g$

$G_{\text{Terre}}/G_{\text{Lune}} = 6$ Cf slide tintin

On peut définir le poids : $\vec{P} = m \vec{g}$ = force gravitationnelle exercée par la Terre sur un objet de masse m

La masse du capitaine Haddock n'a pas changé, mais la valeur de la pesanteur a changé, donc la force (le poids) a changé.

A la surface de la Terre, on considérera qu'on étudie le mouvement d'objets dans un champ de pesanteur uniforme = (rappel) le même en tout point à la surface de la Terre.

De plus on considère que le champ de pesanteur est vertical et dirigé vers le « bas » (en réalité il est dirigé de l'objet vers le centre de la Terre, mais localement = à l'échelle du labo, on néglige la courbure de la Terre)

Transition : On va maintenant faire l'étude du mouvement d'un objet soumis au poids uniquement

II. Étude d'une chute libre

A. Étude de la trajectoire

Slide : Méthode

1. Définition du système : bille de masse m
2. Référentiel et repère : classe supposé galiléen
3. Bilan de forces : Poids

4. PFD : $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{P} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$ Intégration à faire au fur et à mesure car compliqué pour les élèves

$$z(t) = \frac{1}{2} g t^2$$

Chute sans vitesse initiale

exp : Chute libre d'une bille, but retrouver la valeur de g

https://www.pccl.fr/physique_chimie_college_lycee/lycee/terminale_TS/chuteLibre.htm

https://web-labosims.org/animations/Chute_libre3/app_chutelibre.html (un peu lente mais plus complete)

On mesure t pour différents z. On trace $z=f(t)$ puis $z=f(t^2)$

→ Expérience cohérente avec la théorie + mesure de g avec incertitudes

→ temps de chute : $z(\tau) = z_0 \leftrightarrow \tau = \sqrt{\left(\frac{2z_0}{g}\right)}$ → ne dépend pas de m

Donc plume et marteau touchent le sol au même instant. (Limite ici sans frottement)

Si g augmente → τ diminue → la chute est plus rapide sur Terre que sur la Lune

Transition : On va s'intéresser à l'aspect énergétique

B. Aspect énergétique

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m g^2 t^2$$

$$E_p = -mgz = -\frac{1}{2} m g^2 t^2$$

$$E_m = 0$$

exp : On trace E_c et E_p puis $E_m \rightarrow v=d/\Delta t$ avec d la distance entre 2 capteurs

https://web-labosims.org/animations/Chute_libre3/app_chutelibre.html

→ Conservation de l'énergie mécanique

Conclusion

Interaction gravitationnelle : G et $F=mG$

Réponse aux questions de l'intro

Ouverture : Dissipation car forces de frottement

Elément imposé :

Loi de Kepler : hachette TS p.167

Trajectoire de la Terre ou des satellites obéit à des lois :

1ere Loi de Kepler (loi des orbites) : Dans le référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de gravité d'une planète est une ellipse dont le centre de gravité du Soleil est l'un des foyers

2eme Loi de Kepler (loi des aires) : (Slide) Le segment soleil-planète balaie des aires égales durant des durées égales.

3eme Loi de Kepler (loi des périodes) : $\frac{r^2}{a^2} = \text{constante}$ avec a le demi grand axe (slide) et T la

période de révolution = la durée pour effectuer un tour complet de l'orbite.

<https://physique-chimie.discip.ac-caen.fr/spip.php?article451>

https://www.walter-fendt.de/html5/phfr/keplerlaw2_fr.htm

Mouvement des planètes et des satellites :

On considère un satellite dont la trajectoire est circulaire uniforme, de plus la trajectoire est plan (Slide)

Pour un mouvement circulaire, l'accélération et la vitesse du satellite ont une composante tangentielle à sa trajectoire et aussi une composante normale à la trajectoire qui l'attire vers la Terre

→ l'accélération du corps, qui est la somme des composantes normales et tangentielles reste tangentielle à la trajectoire → le satellite ne s'écrase pas sur la Terre

On applique la seconde loi de Newton : (hachette TS p 166)

$$m\mathbf{a} = m(\mathbf{a}_N + \mathbf{a}_T) = \mathbf{F}_T \otimes$$

$$m a_N \text{ vect} + m a_T \text{ vect} = \frac{G M m}{H^2} \vec{n}$$

par identification on a $m a_N = v^2/H = G M m/(H)^2$ et $m a_T = m dv/dt = 0$

→ $dv/dt = 0$ donc la vitesse est constante et le mouvement est donc bien uniforme.

On peut exprimer la vitesse : $v = \sqrt{(GM/H)}$ On remarque que la vitesse du satellite ne dépend pas de sa masse.

Si on veut calculer la période du satellite, on sait que c'est la durée durant laquelle le satellite fait un tour complet de son orbite : donc le satellite parcourt le périmètre d'un cercle de rayon H à la vitesse v : $T = 2\pi H / v$

On remplace v par l'expression obtenue : $T = 2\pi \sqrt{(H^3/GM)}$

Si on passe cette relation au carré, on retrouve la 3e loi de Kepler : on identifie la constante à $4\pi^2/GM$ Avec M la masse de la Terre dans cette exemple et la masse du soleil dans la loi de Kepler.

Données : <https://www.astro-rennes.com/planetes/intro.php>

Poids et masse animation : <https://www.edumedia-sciences.com/fr/media/286-poids-masse-sur-la-lune>

https://www.pccl.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/mecanique/masse_poids_dynamometre.htm

Remarques :

- Mesure champ de pesanteur = gravimétrie
- Etre au point sur force d'inertie d'entraînement, influence des marées... ; analogies champ de pesanteur/électrostatique (forces ; thm de Gauss...) ; masse inertielle/gravitationnelle
- Vignettes de Tintin cool ! (capitaine Hadock sur la lune)
- Géoïde = niveau 0 de la mer