

LP n° 2 Titre : Gravitation

Présentée par : Guillaume

Rapport écrit par : Emmanuelle

Correcteur : François LEVRIER

Date : 28/09/2018

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Mécanique (chap. 6 « Gravitation » et 12 « Corps ponctuel soumis à une force conservative »)	Perez	Dunod	2014
Physique PCSI (chap. 19 « Mouvement dans un champ newtonien de forces centrales »)	Grécias		2009
The solar system video		Youtube	

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : L1

Pré-requis :

- Notion de point matériel
- Théorèmes généraux de la mécanique

Introduction :

- une des 4 interactions fondamentales
- Théorie de Newton 1687

I/ Force gravitationnelle

1) Définition

- introduite par Newton en 1687
- schéma des forces avec 2 points S (mS) et P (mP) ; formule
- force attractive, orienté suivant la direction entre les 2 points matériels

2) Mouvement d'une planète autour du soleil

Hypothèses : - uniquement interactions entre le Soleil et la Planète

- le soleil et la planète (sphériques) sont assimilés à des points matériels.
- Référentiel de Kepler (Galiléen)

Schéma dans un plan x,y,z (avec $F(s-p)$)

Théorème du moment cinétique : formule

$$dL/dt = \dots = 0$$

donc le vecteur L est constant

Donc le mouvement des planètes est plan.

Animation : Mouvement des planètes appartient au même plan

Les planètes ont été créées en même temps, elles sont liées au Soleil.

II/ Energie potentielle gravitationnelle

1) Définition

Schéma

On calcule un travail élémentaire de $F(s-p)$: formule

On constate que ce travail élémentaire est une différentielle totale exacte. Cela veut dire que la force gravitationnelle dérive d'une énergie potentielle E_p .

Par définition : $dE_p = -$ travail élémentaire de la force

Formule de E_p

2) Etat lié des planètes autour du soleil

a) Energie mécanique

Théorème de l'Energie mécanique : formule $dE_m=0$

Donc l' E_m des planètes est constante

b) Etat lié

Schéma

$E_m = E_c + E_p = \dots$

Or $L =$

Définit E_m en introduisant E_p effective

Représente $E_p \text{ eff}(r)$ en fonction de r et grâce à ce schéma montre que E_m est forcément négative pour un état lié des planètes vis-à-vis du Soleil.

Les planètes sont dans un état lié par rapport au Soleil ($E_m < 0 \Leftrightarrow r_{\min} < r < r_{\max}$)

Remarque : les satellites artificiels sont placés à r_m (là où $E_p \text{ eff}$ est minimal)

III/ Champ de gravitation

1) Définition pour un point matériel

Schéma

Formule force gravitationnelle

En déduit la formule du champ de gravitation

2) Champ gravitationnel du soleil

Théorème de Gauss :

A partir du théorème détermine le champ de gravitation.

ODG du champ à la surface de la Terre et de la Lune.

Conclusion :

Trajectoire des planètes avec théorie de Newton – Actuellement théorie plus moderne : théorie de la relativité générale d'Einstein.

Questions posées par l'enseignant

- 1) Qu'est ce qui justifie l'hypothèse du problème à 2 corps ? Peut-on la justifier avec des ODG ?
Rapport de masse Jupiter/ Soleil et de leur distance ?
- 2) Quelles sont les autres interactions fondamentales ? Faible, forte, électromagnétique
ODG de ces interactions ?
Idée de rapport F_g et F_e pour une paire électron-proton ?
- 3) Référentiel de Kepler Galiléen, qu'est ce que ça veut dire ? Est-ce que ça existe vraiment ?
Non mais ok sur un temps court.
- 4) Vidéo - Quelle mise en garde donner aux élèves ? Les échelles ont été compactées (distances et tailles des astres).
- 5) Pourquoi les planètes seraient-elles toutes dans le même plan ? Tous les corps du système solaire orbitent-ils dans le même plan ?
- 6) Moment cinétique constant, peut-on en déduire autre chose ? on peut démontrer la loi des aires et remonter à la 2eme loi de Kepler.
Faire la démonstration.
- 7) Qu'est ce que ça veut dire « différentielle totale exacte » ?
- 8) Pourquoi dE_p c'est $-\Delta(W)$?
- 9) Peux-tu refaire la démonstration de l' E_m avec E_m eff. ? oubli d'un carré
- 10) Quelle propriété n'as-tu pas mentionné ? La période
La retrouve avec la 3ème loi de Kepler – démonstration avec 2eme loi de Newton.

Commentaires donnés par l'enseignant

- D'autres titres ?
- Il faut parler des lois de Kepler. Incontournable.
- Notion de champ de gravitation : bien
- Hypothèses : planètes points matériels (pour ne pas parler de marées), Soleil (pour pouvoir appliquer le théorème de Gauss simplement)
- Bonne réponse pour le référentiel de Kepler et la vidéo
- Avoir des idées d'ODG des distances dans le système solaire et des rapports de masses.
- Les corps du système solaire ne sont pas tous dans le même plan.
- L'Energie potentielle de pesanteur peut se calculer avec un développement limité.
- E_p , eff(r) post Newtonien = $-GmM/r + L^2/2mr^2 - GmML^2/c^2r^3$

Conseils :

J'aurai parlé des lois de Kepler au début (Tycho Brahe observe- Kepler en a donné des lois)

Force centrale

Moment cinétique

Lois des aires

Trajectoire des planètes

En réalité pb à 2 corps pas tout à fait vrai. Ex : Mercure

Remarque : on peut parler des marées mais ne pas en faire une partie, juste le mentionner.

Partie réservée au correcteur

Avis sur le plan présenté

Le plan semble faire l'impasse sur des notions qui doivent être abordées dans cette leçon (pas de mention des lois de Kepler ?). Cela transparaît dans le titre des parties, qui semblent plutôt devoir être ceux de sous-parties, même si le contenu - ce qui a été présenté - a recouvert en définitive un domaine plus vaste (énergie potentielle effective, notions d'état libre et lié, constance du moment cinétique) que ce qui était annoncé.

Concepts clés de la leçon

Loi de Newton - Force centrale - Planéité des trajectoires - équation des trajectoires - discussion des différents cas (ellipse, parabole, hyperbole) - loi des aires - 3e loi de Kepler -

Concepts secondaires mais intéressants

Au-delà de l'approximation du problème à deux corps ponctuels (évolutions séculaires des orbites, effets de marées) - Effets post-newtoniens (Mercure) - vitesse de libération v_l - approche classique des trous noirs ($v_l=c$) - trajectoires des satellites (ellipses de Hohmann)

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

RAS mais on peut envisager une simulation numérique pour montrer les trajectoires

Points délicats dans la leçon

Ne pas passer trop de temps sur des dérivations lourdes (Binet ou autre). Avoir des ordres de grandeur à portée de main.

Bibliographie conseillée

Pérez « Mécanique »