

LP2 : Gravitation

Damien RIOU

21 septembre 2015

Niveau

L2

Prérequis

- 1ère S : Introduction à la gravitation
- Électrostatique
- Mécanique

Objectifs

- Genèse de la théorie de la gravitation
- Applications de la gravitation

Plan

Introduction

La gravitation est un phénomène physique naturel que nous constatons depuis toujours. Nous sommes en effet des corps massique et la Terre nous rappelle à elle via la force gravitationnelle. Le développement de la théorie de la gravitation pris son essor au XVII^e siècle avec en particulier Newton et Kepler qui donnèrent de bonnes bases théoriques à la mécanique classique.

Durant cette leçon, nous allons donc chercher à approfondir la première ébauche faite en première S sur la gravitation.

A Du mouvement planétaire à la théorie de la gravitation

A.1 Mouvement planétaire, lois de Kepler et principe d'inertie

Le mouvement des corps dans l'espace fit l'objet de débats passionnés à la fin du Moyen-Âge. Copernic redécouvrit au XVI^e siècle ce qui avait été supposé en premier lieu par les théoriciens grecs ; il se plaça en défenseur de la théorie héliocentrique : le Soleil se trouve au centre de notre système solaire et les planètes orbitent autour de celui-ci. Il fit ses observations en observant les planètes de notre système se mouvoir par rapport aux étoiles qui constituent un fond fixe.

Le début du XVI^e siècle vit l'apparition du débat pour trancher la question « qui tourne autour de qui ? ». Ainsi, le physicien Tycho Brahé entreprit de mesurer précisément la position des planètes dans le ciel au cours du temps. Le mathématicien Kepler utilisa ces travaux pour établir ces trois lois régissant le parcours des planètes dans leur course autour du Soleil :

1. Les planètes orbitent autour du Soleil par une trajectoire elliptique dont le Soleil placé sur un des foyers.
2. La vitesse des planètes n'est pas uniforme ; le rayon reliant la planète et le Soleil balayent des surfaces identiques sur des temps égaux. C'est la loi des aires.
3. Soit $2a$ la longueur du grand axe de l'ellipse et T la période de révolution de la planète, alors on a $T^2 \propto a^3$.

Pendant que Kepler établissait ses lois, Galilée étudiait la dynamique des mouvements. Il en sorti le principe d'inertie : un système isolé de toute perturbation extérieure persiste dans son état de mouvement rectiligne uniforme.

A.2 Loi de la gravitation universelle

A ce point, Newton ajouta la notion de force. En effet, sans cette notion de force, la planète ne tournerait pas autour d'un astre massif mais traverserait l'espace en ligne droite. Newton en tira deux choses :

- Si un corps voit son module de vitesse varier, c'est qu'une force est appliquée sur le corps dans l'axe du déplacement
- Si un corps change de trajectoire, cette force est appliquée perpendiculairement à l'axe du déplacement.

Ainsi, pour qu'une planète tourne autour d'une étoile est une force de gravitation. Tous les corps massifs de l'univers s'attirent les uns les autres. Newton propose alors la loi de la gravitation universelle, avec G la constante de gravitation :

$$\begin{cases} \vec{F}_{2 \rightarrow 1} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{e}_{2 \rightarrow 1} \\ G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2} \end{cases}$$

Nous notons que cette force ne peut être qu'attractive. Si vous considérons un ensemble de N masses $\{m_i\}$ qui exerce une force sur une masse ponctuelle m . Nous pouvons, pour connaître la force de gravitation totale qui s'exerce sur cette masse m grâce au principe de superposition :

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$$

Nous pouvons noter que pour un corps à symétrie sphérique ayant une masse volumique homogène voit la force de gravitation avoir comme point d'application son centre de masse qui est situé au centre de la sphère. C'est le cas des astres comme la Terre par exemple.

A.3 Masses et poids

Nous devons faire à ce point une distinction entre la masse grave et la masse inerte. La masse grave est la grandeur qui entre en compte dans l'attraction de deux corps par la force gravitationnelle. La masse inerte est celle qui entre en compte dans le principe d'inertie et dans la deuxième loi de Newton et qui s'oppose à la mise en mouvement des corps. Dans le cadre de cette leçon, ces deux grandeurs seront supposées égales et confondues.

La force qui rappelle les objets à la Terre est le poids, c'est une adaptation de la force gravitationnelle à notre environnement. Pour un objet de masse m , nous posons donc :

$$\vec{P} = -G \frac{m M_T}{R_T^2} \hat{e}_z = m \vec{g}$$

$$\text{Ainsi, } \vec{g} = G \frac{M_T}{R_T^2} \hat{e}_z, g = 9,83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Le poids est principalement dû à la force gravitationnelle, les effets inertiels dus à la rotation de la Terre ne venant que si on a besoin d'un modèle plus précis.

B Application de la théorie de la gravitation

B.1 Collision entre deux objets, effet de fronde

L'effet de fronde est utilisé pour accélérer sans carburant des vaisseaux spatiaux. C'est en particulier le cas de la récente sonde Cassini qui a effectué deux survols de Vénus, un de la Terre et un autre de

Jupiter pour pouvoir acquérir suffisamment de vitesse pour atteindre son objectif, Saturne.

Pour étudier ce problème, nous devons considérer une collision entre la planète et l'engin¹. De ce phénomène, nous pouvons aussi étudier la déviation de la lumière par un corps massif².

B.2 Étude d'un système double

La théorie de la gravitation permet aussi d'expliquer le comportement d'un système double, que ce soit une étoile avec une planète ou deux étoiles orbitant l'une autour de l'autre. Depuis la Terre, il nous est difficile de voir de petits astres lointains et faiblement lumineux, nous devons alors recourir à d'autres méthodes pour les détecter. Ainsi, en regardant une étoile et en observant sa luminosité au cours du temps, nous pouvons avoir une bonne idée des corps qui passent entre l'étoile et le télescope d'observation.

En supposant qu'un astre est plus massif que l'autre, nous pouvons étudier le mouvement du plus léger autour de l'astre le plus massif. Ainsi, en utilisant les lois de Kepler, nous pouvons déduire à distance l'astre lumineux-astre sombre de la période de variation de la luminosité de l'étoile lumineuse.

B.3 Effet de marée sur Terre

L'effet de marée peut aussi être expliqué avec la gravitation universelle. En effet, la roche est fixe sur la planète, alors que l'eau est libre de bouger sous l'influence des forces gravitationnelles qui lui sont appliquées. Nous pouvons donc essayer de déduire les périodes des marées grâce à cet effet. Nous considérons en premier lieu le seul système Terre-Lune, puis l'influence des autres astres de notre système solaire³.

Conclusion

Durant cette leçon, nous avons vu la genèse de la théorie de la gravitation, en particulier les constatations et les travaux faits pour arriver au résultat de Newton. Nous avons ensuite vu et décrit quelques effets utilisés de nos jours grâce à la théorie de la gravitation universelle.

Cette théorie a connu quelques ajustements récents par Einstein en 1915, afin de la rendre compatible avec la théorie de la relativité. En effet, la théorie de Newton a pour faiblesse de considérer que l'attraction gravitationnelle prend effet immédiatement, alors que ceci viole le principe qui stipule qu'on ne peut transmettre d'information plus vite que la lumière.

Bibliographie

- [1] Mécanique : fondements et applications, Pérez, Dunod
- [2] Physique 1, Mécanique, Halliday, Dunod
- [3] Le cours de physique de Feynman, Mécanique 1, Feynman, Dunod
- [4] Physique : 1re année PCSI, Augier, Tec & Doc, Lavoisier

1. cf. [4] p.561

2. cf. [2] p.317

3. cf. [1] p.92