

## LP n° 2 : GRAVITATION

Fanny Jospitre

29/09/2016

### Niveau

L2

### Prérequis

- Lois de Newton et de Kepler
- Cinématique et dynamique newtonienne
- Théorèmes généraux de la mécanique du point et du solide

### Objectifs

- Introduire l'interaction gravitationnelle et développer quelques caractéristiques
- Retrouver les lois de Kepler
- Introduire la notion de « trou noir » classique

### Intro

Il existe quatre interactions fondamentales dont sont familiers les élèves. Parmi elles : l'interaction gravitationnelle assure la cohésion des planètes et de l'univers dans sa totalité. La théorie gravitationnelle a longtemps fait l'objet de débats. Fort de leurs observations les scientifiques ont pu améliorer leur compréhension en répondant à la question de qui tourne autour de qui entre le soleil et la terre. La cause de ce mouvement fut véritablement posée par Newton lorsqu'il introduisit la notion de force.

## A L'interaction gravitationnelle

### A.1 Du mouvement des planètes à l'interaction gravitationnelle

\*Bref historiques

16<sup>e</sup> siècle Copernic suggère que la Terre tourne autour du soleil

1600-1620 Kepler sur la base des relevés expérimentaux de Brahé établit les trois lois qui régissent le mouvement des planètes autour du soleil

Fin 17<sup>e</sup> siècle Newton fait une importante contribution à la physique et propose que la force qui maintient la lune sur son orbite est celle la même qui fait tomber la pomme sur terre. Tous les corps de l'univers s'attirent mutuellement c'est la gravitation.

\*Expression

Donner l'expression de  $F$

$F$  est une force centrale conservative

## A.2 Expérience de Cavendish

Lorsqu'on approche deux masses nettement plus importantes des deux petites masses, l'attraction gravitationnelle entre les paires de masse fait devier le pendule d'un angle  $\theta$ . La mesure de cette deviation permet de retrouver la valeur de G.

On se place en statique  $\sum M_O = \vec{0}$  On compte le moment de rappel, de frottement, de l'interaction d'attraction

Il vient  $\theta = \frac{2GmMr}{d^2C}$  et on trouve la valeur de G

Remarque : l'expérience est très sensible à mettre en place en pratique.

Ce dispositif s'appelle la balance à peser la Terre car le but initial était d'estimer la masse de la Terre

Pour se faire on applique le principe fondamental de la dynamique à une masse à la surface de la Terre

$$g = a = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

## B Utilisation des lois de conservation

### B.1 Conservation du moment cinétique

On considère un point matériel de masse m soumis à l'attraction gravitationnelle d'un corps de masse m'

$\vec{L}_O = \vec{cst}$  sa direction étant toujours constante le mouvement est plan

On se place en coordonnées polaires, la réécriture du moment cinétique permet d'aboutir à la loi des aires (2e loi de Kepler)

Animation python

### B.2 Approche énergétique

F conservative on écrit le travail élémentaire pour avoir l'expression de l'énergie potentielle

$$Em = E_C + E_P = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + \frac{mC^2}{2r^2} - \frac{Gmm'}{r}$$
 On a un nouveau terme d'énergie potentielle

L'étude de cette énergie potentielle donne accès aux trajectoires accessibles

Tracer  $E_p = f(r)$  et discuter des trois cas possibles

### B.3 Orbite circulaire

On applique le pdf à une masse m en orbite circulaire

il vient  $v = \sqrt{\frac{Gm'}{r}}$  l'orbite circulaire est parcourue à vitesse constante indépendante de la masse de l'objet

Application numérique à un satellite en orbite basse (exemple satellite militaire)

$v_1 = 7,9 km/s$  première vitesse cosmique très grande ce qui justifie qu'on utilise de très grands objets pour mettre en orbite les satellites.

On évalue la période d'un tel mouvement et on retrouve la loi des périodes.

## C Applications

### C.1 Le « trou noir » classique

Calculer la vitesse de libération : c'est la vitesse minimale que la masse doit acquérir pour se libérer de l'attraction de la Terre et aller à l'infini.

Si un astre est très massif alors la vitesse de libération est très grande.

Supposons un « photon » au sens de Newton émis à c d'une étoile, s'il reste soumis à l'attraction de l'étoile  $c < v_l$  il est donc en chute libre

$E_c = -E_p$  et la distance à laquelle il est lancé reste inférieure à  $r$ , rayon de l'étoile

Or comme on ne peut pas envoyer de rayon lumineux depuis l'intérieur de l'astre, l'astre reste invisible c'est le trou noir

Critère : si le rayon de gravitation  $r_g = \frac{2GM}{c^2} > r$  on a un trou noir

Application numérique au cas de la terre : elle n'est pas un trou noir

## C.2 L'effet de fronde

Reprendre l'exercice du TD

On utilise cet effet pour que les sondes interplanétaires rebondissent de planètes en planètes pour aller sonder les confins du système solaire.

## Conclusion

La gravitation a beaucoup d'avenir!

## Bibliographie

- [1] Physique PCSI TEC et DOC
- [2] BRF Mécanique 1
- [3] Hakim Gravitation Relativiste
- [4] Shaeffer Relativités et quanta clarifiés