

PROGRAMME DE KHÔLLES DE LA CLASSE DE PCSI - PHYSIQUE

SEMAINE 23 : du 31 mars au 4 avril

M4 cours 2/2 : mouvement à force centrale, forces newtoniennes, application à la mécanique céleste

Tout ce qui est présenté ci-dessous correspond à des définitions ou des propriétés/lois à connaître par cœur, les propriétés/lois sont basées sur des démonstrations à savoir refaire.

Force centrale conservative :

- définition d'une force centrale
- définition d'une force conservative.

Lois de conservation (auss appelé invariant du mouvement) pour une force centrale conservative :

- Le caractère central induit la conservation du moment cinétique et implique la planéité du mouvement et la constante des aires $C = r^2 \cdot \dot{\theta}$ (d'où l'on peut déduire la loi des aires) → démos à connaître.
- Le caractère conservatif de la force induit la conservation de l'énergie mécanique → démo à connaître.

Forces newtoniennes

Les forces centrales conservatives en $1/r^2$ sont appelées les forces newtoniennes, on les note en coordonnées sphériques $\vec{F} = -\frac{K}{r^2} \cdot \vec{u}_r$ et on associe une énergie potentielle $E_p(r) = -\frac{K}{r} + C$; si la force est attractive $K>0$ et si la force est répulsive $K<0$.

Connaître par cœur les expressions vectorielles des forces gravitationnelle et électrostatiques ainsi que les expressions des énergies potentielles associées et avoir conscience que ce sont des forces newtoniennes (force gravitationnelle : $K=Gmm_0$; force électrostatique $K= -qq_0/4\pi\epsilon_0$).

Energie potentielle effective dans le cas des forces newtoniennes attractives (force d'attraction gravitationnelle et force d'attraction électrostatique) :

- Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective.
- Décrire qualitativement le mouvement radial à l'aide de l'énergie potentielle effective en fonction de la valeur de E_m à l'aide du profil de $E_{p_{eff}}(r)$, en particulier : relier le caractère borné ou non à la valeur de l'énergie mécanique. état lié : mouvement circulaire ($E_m=E_{p_{eff_{mini}}}$ ou elliptique $E_{p_{eff_{mini}}} < E_m < 0$, état de diffusion : mouvement parabolique (pour $E_m=0$) ou hyperbolique ($E_m>0$).

Energie potentielle effective dans le cas des forces newtoniennes répulsives (répulsion électrostatique) : Exprimer la conservation de l'énergie mécanique et construire une énergie potentielle effective, montrer que la trajectoire est hyperbolique par analyse du profil $E_{p_{eff}}(r)$.

Application à la Mécanique céleste

- Enoncé des 3 lois de Kepler, savoir adapter au cas du satellite en orbite autour de la terre et aux planètes en orbite autour du soleil.
- Cas particulier du mouvement circulaire :
montrer que le mouvement est uniforme (4 méthodes : RFD, conservation du moment cinétique, conservation de l' E_m , constante des aires)
établir l'expression de la vitesse puis de la période à partir de la RFD et en déduire la troisième loi de Kepler ainsi que l'expression de l'énergie mécanique.
Il faut à la fois connaître les démonstrations et aussi connaître par cœur les formules de la vitesse et de l' E_m pour une trajectoire circulaire.

- Cas du mouvement elliptique :

Par simple analogie avec le mouvement circulaire, retrouver (sans démo) l'expression de la troisième loi de Kepler et l'expression de l'énergie mécanique (on remplace R par a dans les formules) ; attention la vitesse n'est pas constante pour un mouvement elliptique.

connaître la démonstration permettant de retrouver l'expression de l'énergie mécanique pour une trajectoire elliptique .

- Choix de l'orbite d'un satellite en fonction de son utilité :

Satellites géostationnaires : connaître et savoir retrouver (expliquer) ses caractéristiques, (Calculer l'altitude du satellite et justifier sa localisation dans le plan équatorial), intérêt de ces satellites.

Intérêt de lancer les satellites depuis des zones proches de l'équateur.

Vitesses cosmiques (vitesse en orbite circulaire basse et vitesse de libération) : savoir les définir, les établir et connaître leur ordre de grandeur pour la Terre.