Leçon de Physique n°1
Gravitation

Niveau : CPGE 1ère année : MPS, PCSI, PTSI

Programme :

Notions et contenus	Capacités exigibles
2.2 Lois de Newton Force de gravitation. Modèle du champ de pesanteur uniforme au voisinage de la surface d'une planète. Mouvement dans le champ de pesanteur uniforme.	Etudier le mouvement d'un système modélisé par un point matériel dans un champ de pesanteur uniforme en l'absence de frottement.
2.3. Approche énergétique du mouvement d'un point matériel Champ de force conservative et énergie potentielle Énergie potentielle. Lien entre un champ de force conservative et l'énergie potentielle. Gradient.	Établir et citer les expressions de l'énergie potentielle de pesanteur (champ uniforme), de l'énergie potentielle gravitationnelle (champ créé par un astre ponctuel) [...]. Déterminer l'expression d'une force à partir de l'énergie potentielle, l'expression du gradient étant fournie. Déduire qualitativement, en un point du graphe d'une fonction énergie potentielle, le sens et l'intensité de la force associée.
2.6. Mouvements dans un champ de force centrale conservatif Point matériel soumis à un champ de force centrale.	Établir la conservation du moment cinétique à partir du théorème du moment cinétique. Établir les conséquences de la conservation du moment cinétique : mouvement plan, loi des aires.
Point matériel soumis à un champ de force centrale conservatif Conservation de l'énergie mécanique. Énergie potentielle effective. État lié et état de diffusion.	Exprimer l'énergie mécanique d'un système conservatif ponctuel à partir de l'équation du mouvement. 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. Relier le caractère borné du mouvement radial à la valeur de l'énergie mécanique. Capacité numérique : à l'aide d'un langage de programmation, obtenir des trajectoires d'un point matériel soumis à un champ de force centrale conservatif.
Cas particulier du champ newtonien Lois de Kepler. Cas particulier du mouvement circulaire : satellite, planète.	Énoncer les lois de Kepler pour les planètes et les transposer au cas des satellites terrestres. Établir que le mouvement est uniforme et déterminer sa période. Établir la troisième loi de Kepler dans le cas particulier de la trajectoire circulaire. Exploiter

	sans démonstration sa généralisation au cas d'une trajectoire elliptique.
Énergie mécanique dans le cas du mouvement circulaire et dans le cas du mouvement elliptique.	Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement circulaire. Exprimer l'énergie mécanique pour le mouvement elliptique en fonction du demi-grand axe.
Satellites terrestres Satellites géostationnaire, de localisation et de navigation, météorologique.	Différencier les orbites des satellites terrestres en fonction de leurs missions. Déterminer l'altitude d'un satellite géostationnaire et justifier sa localisation dans le plan équatorial.

<u>Livres :</u> Tout-en-un DUNOD PCSI, Mécanique PEREZ, H Prépa Mécanique

<u>Pré-requis :</u> Description et paramétrage du mouvement d'un point avec les lois de Newton (1ère loi : principe d'inertie : il existe une classe de référentiels privilégiés appelés référentiels galiléens dans lesquels tout point matériel isolé est animé d'un mouvement rectiligne et uniforme ; 2ème loi : PDF ; 3ème loi : principe des actions réciproques), Approche énergétique du mouvement d'un point matériel et notamment force conservative et énergie potentielle, moment cinétique

Intro :
Interaction gravitationnelle : une des 4 interactions fondamentales de la physique, introduite par Newton en 1687 pour interpréter le mouvement des planètes d'après les lois expérimentales de Kepler énoncées d'après ses observations et celles de Thcho Brahé.
Dans cette leçon, nous verrons ce qu'est une force centrale conservative avec l'exemple approfondi de l'a force gravitationnelle. Nous développerons la notion

1) Force centrale conservative

a) Définition

Définir le système : {point M de masse m} dans R galiléen, se placer en coordonnées sphériques.
Définir force centrale de centre O (O fixe dans R), donner son expression
Définir force conservative, donner son expressions
En déduire la forme de F(r)
Force attractive si dirigée vers 0 : F(r) < 0, Ep fonction croissante de r
Force répulsive si F(r) > 0, Ep fonction décroissante de r

b) Exemple de force centrale conservative : la force gravitationnelle

Définition. Force de M_1 (m_1) sur M_2 (m_2)
$G = 6{,}67.10^{-11}$ $m^3.kg^{-1}.s^{-2}$: constante gravitationnelle
Manip Bellier p. 254 ?
c) Pesanteur terrestre

2) Mouvement à force centrale conservative

a) Conservation du moment cinétique

Attention à toujours définir le ref.
Application du théorème du moment cinétique : $d\mathbf{L}_O/dt = \mathbf{M}_O(\mathbf{F}) = \mathbf{0}$ car **OM** et **F** sont colinéaires : $\mathbf{L}_O$ est conservé au cours du mouvement

Plan P = (O, $\mathbf{OM_0}$, $\mathbf{v_0}$), par définition $\mathbf{L_O} \perp$ P donc P passant par O $\perp$ $\mathbf{L_O}$ or $\mathbf{L_O}$ est conservé et OM $\perp$ $\mathbf{L_O}$ donc M est situé dans le plan passant par O et $\perp$ $\mathbf{L_O}$ donc M est situé dans P à tout instant donc **mouvement plan**

b) Loi des aires

On peut passer en coordonnées polaires dans le plan P

$\mathbf{OM}=r\mathbf{u_r}$ et v=… => $\mathbf{L_O}=mr^2d\vartheta/dt\mathbf{u_z}$ **=>** $r^2d\vartheta/dt=C$: constante des aires en $m^2.s^{-1}$

(dessin)

aire balayée par le rayon vecteur **OM** pendant dt : dA

Les aires balayées par le rayon vecteur pendant des intervalles de temps égaux de durée Δt sont égales et valent : $\Delta A=C/2\ \Delta t$ (on retrouve la 2ème loi de Kepler)

Vitesse aréolaire v =dA/dt=C/2

b) Conservation de l'énergie

On prend le cas où m_2>>m_1 de sorte que l'action de m_1 sur m² ne permet pas de mettre m² en mouvement

L'énergie mécanique se conserve : dEm/dt=0 avec $Em=Ec+Ep=mv^2+Ep(r)$

avec $Ep=-Gm_1m_2/r$

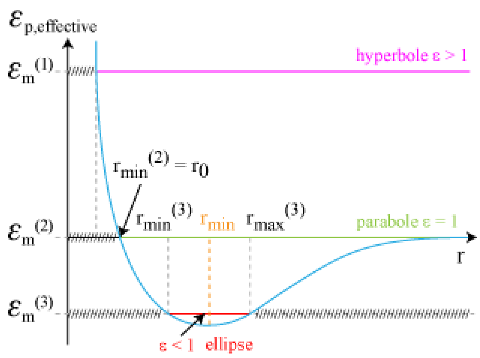
Mouvement plan donc coordonnées polaires dans le réf galiléen R

$\mathbf{OM}=r\mathbf{u_r}$ et v=… => Ec (2) : 2 degré de liberté r et ϑ mais on sait aussi que $C=r^2d\vartheta/dt$ (1)

On remplace (1) dans (2) et on définit $E_{peff}(r)=1/2\ mC^2/r^2 - Gm_1m_2/r$

=> tracer la courbe de $E_{peff}(r)$ ()

(étude de la courbe ? Calculer $dE_{peff}(r)/dt$ => s'annule en $r_0=C^2/(Gm_2)$ où E_{peff-} atteint sa valeur min



Si $0>Em>E_{min}$, l'ensemble des r accessibles est un intervalle borné

=> le système est dans un état lié, il reste dans le puits de potentiel créé par l'astre

Si Em>=0, l'ensemble des r accessibles est un intervalle non borné de la forme [r3,+∞[

=> le système est dans un état de diffusion, il peut sortir du puits de potentiel créé par l'astre

Résolution numérique ?