LP20 - Conservation de l'energie

Niveau L1

Prerequis

* Principe fondamental de la dynamiQ (L1)
* Puissance, force, energie, travail (Lycee)
* Pendule simple
* Forces gravitationelles
* Notion de base en astrophysiQ
* Coordonnées polaires
* Orbite circulaire
* ThermodynamiQ (L1)
* Description microscopiQ de la matiere

Bibliographie

* PhysiQ PCSI - Grecias
* PhysiQ - Hecht
* A la decouverte de l'univers - Commins
* Dufait CAPES

Expérience : • Conservation par le pendule simple
• CAlorimetrie.

Intro pedagogique (Gravitation)

* Cours de Licence 1 car aborde notion importante dans à voir dès le début

* Cours qui suit une leçon sur le PFD et l'étude de systemes simple
  ↳ les élèves savent etablir et resoudre une equa diff

* Les eleves ont souvent entendu parler d'energie ils en connaissent la definition
  ↳ En terminale on voit que l'energie mécanique est constante
  ↳ On va nuancer ce propos :
    ↳ il va bien falloir comprendre que l'energie mecanique change de forme par donner U, une des première difficulté
  ↳ Ils ont déja parler de travail et de puissance en terminale
  ↳ Element imposé : choix de ne pas parler d'energie microscopique mais de tout faire en macroscopique.

* Le but sera de retrouver des equations connues d'une autre façon.
  ↳ Exemple du pendule simple sera completé avec l'energie.

* Les planetes seront abordés dans une derniere partie pour avoir conservation à des échelles plus grandes
  ↳ On ne fera pas une étude complète car pas toutes les connaissances pour.
  ↳ Besoin de $\vec{F}_{grav}$, et notions astrophysique :

* Les forces de marrées seront vu sous une première approche, et vu ⊕ en profondeur ⊕ tard.

* Les difficultés de ce cours sont dans les calculs mathematiques très theoriQ

* Des TD pourront être fait sur les planetes ou sur d'autres systemes
  ↳ Calcul de l'energie "perdu" par frottement

* TP sur l'etude du ressort avec frottements fluides et solides.

* Etude de Doc sur forces de marres et trajectoire elliptique.

Introduction

* Depuis le lycée on entend parler d'énergie et souvent que l'energie se conserve

* On arrive à le comprendre : si on met un skieur dans une descente
  - il perd en énergie potentielle car il descend la pente (il perd de l'altitude)
  - il gagne en energie cinétique car il prend de la vitesse.

* Mais dans certains cas c'est plus compliqué a dire
  - Je freine avec ma voiture
    - ↳ la vitesse diminue
    - ↳ mais on ne gagne pas d'energie potentielle.
  - On va essayer de comprendre ce que devient l'energie car elle ne disparait pas

* Le but de ce cours sera aussi de comprendre ce qui fait que l'on gagne ou qu'on perd de l'energie potentielle ou cinetique.

Transition :

Pour comprendre comment varie l'energie il faut regarder comment les forces travaillent.

Objectif : Savoir justifier le fait que l'energie mecanique se conserve ou non, et comprendre sous quelle forme elle est convertie.

Savoir resoudre des problèmes en utilisant une approche energetique

I. Conservation de l'energie mécaniQ

A. Le travail des forces: Rappel et complements

Puissance : $\vec{P} = \vec{f} \cdot \vec{v}$ Au lycée : $W = AB\, f \cos \alpha$

Travail elementaire : $\delta W = \vec{f} \cdot \vec{dl} = f \cdot \frac{dl}{dt} \cdot dt = P dt$.

↳ $W = \int_A^B \vec{f} \vec{dl} = \int_{t_1}^{t_2} P dt$.

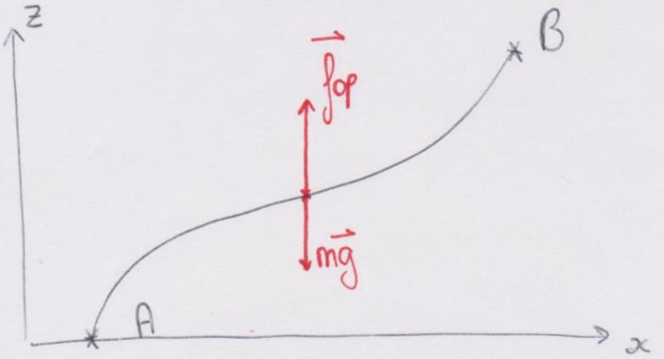
2 types de Forces

- Non conservatives dependent chemin suivi : Cas général.

$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} = \pm \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} m \vec{v}^2 \right) = \pm \frac{d}{dt} (Ec)$

↳ $\delta W = P dt = \pm dEc$. : Valable aussi par les conservatives. : travail fait gagner Ec si dans le même sens que $\vec{v}$

- Conservatives : definissent un potentiel



deplacement infiniment lent : $\vec{mg} \simeq -\vec{f}op$

$W(\vec{f}) = \int_A^B \vec{f}op \cdot \vec{dl} = \int_A^B -\vec{mg}\, \vec{dl} = -W_{poids}$

$\delta W_{poids} = -mg\, dz = -d(mgz) = -dEp$ => il fait perdre de l'energie potentielle

$$\Rightarrow \begin{cases} \text{force conservative } \delta W_c = dEc = -dEp \\ \text{force non conservative } \delta W_{nc} = dEc. \end{cases}$$

Transition : Ce sont les forces qui changent l'energie : mais Em ?

B - L'energie mécanique

$Em = Ec + Ep$

↳ $dEm = dEc + dEp$

$= \delta W_{nc} + \delta W_c - \delta W_c$

$= \delta W_{nc}$

* Uniquement force conservatives ou qui ne travaillent pas ($\vec{f} \perp \vec{dl}$)

↳ $dEc = 0 \Rightarrow Ec = cste$

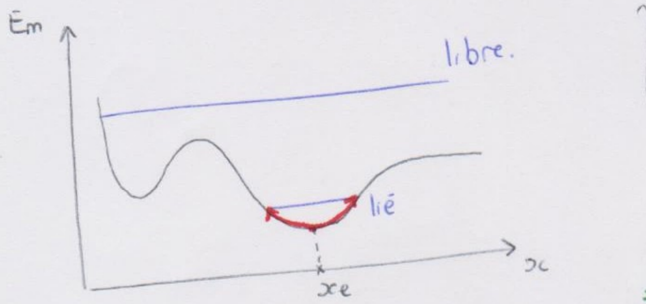
* Forces non conservatives qui travaillent

↳ $dEc \neq 0$ (souvent <0 par frottement)

⚠ L'energie ne disparait pas : elle est cedée sous forme transfert thermique

↳ plaquette de freins qui chauffe au même moins (Voiture intro)

⇒ Conservation energie dans les deux systemes.



On imagine bien que si on lache une bille elle va faire des oscillations

↳ $Ep(x) = Ep(xe) + (x - xe) \underbrace{\cancel{\frac{\partial Ep}{\partial x}\Big|_{xe}}}_{=0} + \frac{1}{2}(x - xe)^2 \frac{\partial^2 Ep}{\partial x^2}\Big|_{x = xe}$

$Em = Ec + Ep$

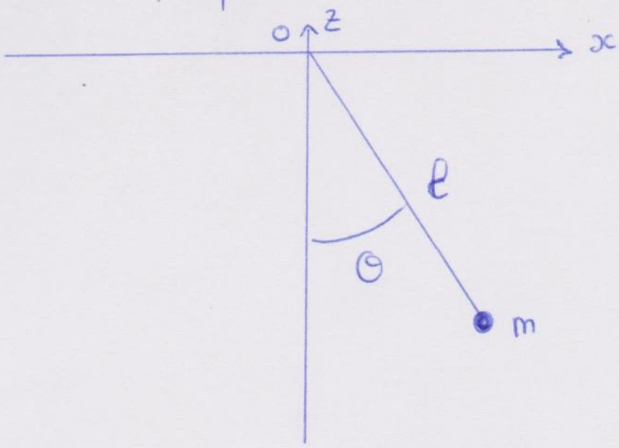
$= \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2}(x - xe)^2 \frac{\partial^2 Ep}{\partial x^2}\Big|_{xe} + Ep(xe)$

$\frac{dEm}{dt} = m \dot{x} \ddot{x} + (x - xe)\dot{x} \frac{\partial^2 Ep}{\partial x^2}\Big|_{xe} = 0$

$= \ddot{X} + \omega_0^2 X = 0$: c'est le pendule qu'on connait : faisons un peu abstrait son etude

C - Exemple du pendule

- Faire un dessin propre



- [On a déjà vu que $\ddot{\theta} + g/\ell \sin\theta = 0$] avec PFD projection.

- On sait que sans frottement $\Delta Em = 0 \Leftrightarrow Em = cste$

$$Em = Ec + Ep$$
$$= \frac{1}{2} m v^2 + mgz$$
$$= \frac{1}{2} m (\ell\dot{\theta})^2 - mg\ell\cos\theta$$

$$\frac{dEm}{dt} = 0 = \frac{1}{2} m \ell^2 . 2\dot{\theta}\ddot{\theta} + mg\ell\dot{\theta}\sin\theta = 0$$
$$\Leftrightarrow m\ell^2\ddot{\theta} + mg\ell\sin\theta = 0$$
$$\Leftrightarrow \ddot{\theta} + g/\ell\sin\theta = 0$$

↳ Pendule simple ⊕ Latis Pro : montrer deux courbes

↳ On ajoute des frottements on a bien $\Delta Em < 0$

Transition : Avec les frottements l'energie mecanique diminue, est-ce que ça veut dire que l'energie disparait ?

Transition : On a conservation dans le laboratoire, mais c'est aussi tres important à l'echelle des planetes, en dehors de l'atmosphère pas de frottements
=> ⊕ facile d'avoir des systemes conservatifs

II - Au niveau des planètes

A - Champ de forces centrales :

- Ce ne sont pas les mêmes forces dans l'espace mais on peut regarder

Force gravitationnelle : $\vec{F} = - G \frac{m_A m_B}{r^2} \vec{u_r}$

↳ Force centrale $/\!/ \vec{u_r}$

↳ $\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{r} \wedge \vec{f} = \vec{0} \Rightarrow \vec{L} = \vec{r} \wedge \vec{v} = r\vec{u_r} \wedge r\dot{\theta}\vec{u_\theta} = r^2\dot{\theta}\vec{u_z} = \text{cste}$

↳ mvmt plan

$$dEp = -\delta W = -\vec{f} \cdot \vec{dl}$$
$$= -\vec{f} \cdot (dr\vec{u_r} + rd\theta\vec{u_\theta}) = -f dr$$

force gravitationnelle : $dEp = + G\frac{m_A m_B}{r^2} dr = -d\left(\frac{G m_A m_B}{r}\right)$

$$\Rightarrow \boxed{Ep = -\frac{G m_A m_B}{r}}$$

↳ $Em = Ec + Ep$

$$= + \frac{1}{2} m_A v^2 - \frac{G m_A m_B}{r}$$

$$= + \cancel{\frac{1}{2} m_A (r\dot{\theta})^2 - G\frac{m_A m_B}{r}}$$

~~Epeff~~

Transition : Dans le modèle deux astres en interactions l'énergie de l'astre A est celle ci dessus et elle est constante.

Peut on regarder dans le cas de la Lune ?

B - Le système Terre Lune :

* Orbite circulaire {Lune}

$r = cste \Rightarrow \vec{dl} = r \cdot d\theta \, \vec{u_\theta} \Rightarrow \vec{F} \cdot \vec{dl} = 0 = \delta W \Rightarrow Em = cste.$

$$Em = \frac{1}{2} m_L (v)^2 - \frac{G m_L m_T}{r}$$

$$= \frac{1}{2} m_L v^2 - \frac{G m_L m_T}{r} = \, ?$$

PFD : $m_L \frac{d\vec{v}}{dt} = - \frac{G m_L m_T}{r^2} \vec{u_r} = - m_L \frac{v^2}{r} \vec{u_r}$

$\hookrightarrow v = \sqrt{\frac{G m_T}{r}}$

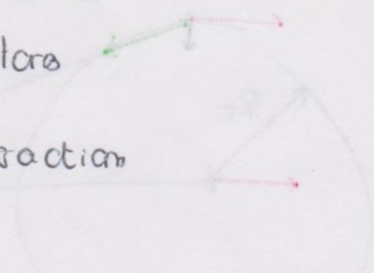
$$\Rightarrow Em = \frac{1}{2} m_L \cdot \frac{G m_T}{r} - \frac{G m_L m_T}{r} = - \frac{1}{2} \frac{G m_L m_T}{r} = cste \quad car \quad r = cste$$

$m_L = 7{,}35 \cdot 10^{22}$ kg
$m_T = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg
$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \, m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}$
$r = 384\,400$ km

$\Big\}$ $Em = 3{,}8 \cdot 10^{28}$ J pour la Lune.

$\hookrightarrow$ voiture à 100 km/h $= 3{,}8 \cdot 10^{5}$ J

$\hookrightarrow 10^{23}$ voitures



$\hookrightarrow$ cette expression est valable pour deux astres en interaction

Transition : ici on a vu l'énergie mécanique de la Lune mais comme elles est en interaction avec la Terre : elle a un impact sur elle.

Force de marée:

{Point P} : Ref Lune

- gravitation de la Terre $= -G\dfrac{mM_T}{R_T^2}$
- gravitation Lune : $-\dfrac{GmM_L}{r^2}$
- force resultante du sol $\vec{R}$
- faxifuge $= -m\vec{a}_{T/R_0} = +\dfrac{GmM_L}{R_{TL}^2}$

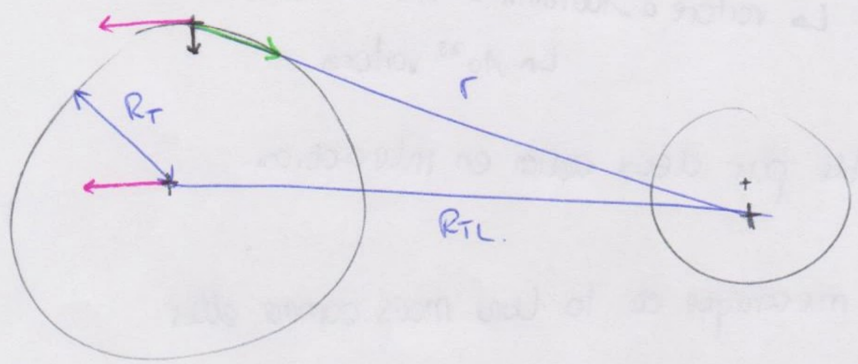
---

or {Terre} dans galliléen

$$\vec{f} = -\frac{GM_TM_L}{R_{TL}^2}\vec{u_r}$$

$$M_T\vec{a}_{T/R_0} = -\frac{GM_TM_L}{R_{TL}^2} \Rightarrow \vec{a}_{T/R_0} = -\frac{GM_L}{R_{TL}^2}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{marée} = -\frac{GmM_L}{r^2} + \frac{GmM_L}{R_{TL}^2}$$



E - L'influence de la Lune sur la Terre

* La fréquence de rotation n'est pas constante, la Terre tourne de moins en moins vite

↳ changement => perte energie

↳ ici on n'a pas echauffement de la Terre, ni changement energie potentielle

↳ ou passe l'energie ?

* Force de marées : Schéma. Au tableau.

- Un point sur la Terre subit l

* L'attraction gravitationelle de la Lune : $\vec{F}_{L/T} = - \frac{G m M_L}{r^2} \vec{u_r}$

* Un force axifuge (que l'on appelle couramment centrifuge) que vous verrez plus tard : $\vec{F}_{axi} = + \frac{G m M_L}{d^2} \vec{u_{LT}}$

↳ Projection Schema

↳ Applatissement Terre ⊕ marré des oceans

↳ elle est la l'energie.

↳ energie dissipé dans les oceans.

* Il faut aussi prendre en compte les autres astres

↳ diapo

Conclusion :

Quand on prend un système : les forces qu'on lui applique change son energie potentielle ou cinetique.

Si elles sont non conservatives elles changent aussi Em

Il faut garder à l'esprit qu'un système peut aussi echanger de l'energie avec un autre : chauffage par exemple. Mais ce sera l'objet d'un cours de thermodynamique