LP04 : Lois de conservation en dynamique

Daniel EISMANN

25 septembre 2014

Bibliographie

[1] Mécanique 2, JP. FAROUX et J. RENAULT, Dunod, 1998

[2] Cours de Feynman, Volume 1, Mécanique, 2013

[3] Problèmes résolus de mécanique du point, H. LUMBROSO, Dunod Université, 1981

Niveaux

2ème année de licence, PC - PC*

Prérequis

- Mécanique du point et du solide, dans les référentiels galiléens
- Lois de conservation :
  - Quantité de mouvement $\vec{p}$, avec le théorème du centre d'inertie : $\frac{d\vec{p}}{dt}(G) = M_{Syst} \cdot \vec{a}(G) = \sum \vec{F}_{ext}(G)$
  - Énergie E, avec le théorème de l'énergie mécanique : $\Delta E_m = W_{Non\,Conservative}$
  - Moment cinétique $\vec{L}$, avec le théorème de l'énergie mécanique : $\left.\frac{d\vec{L}}{dt}\right|_O (M) = \sum \left.\vec{\mathscr{M}}\right|_O (\vec{F}_{ext}(M))$
- Notions de physique nucléaire : collision et désintégrations nucléaires

Objectifs

- Rappels des lois de conservation
- Applications à des cas concrets intéressants : mécanique du point et/ou (*) mécanique du solide
- Constater que connaître l'ensemble des données d'un problème n'est pas toujours nécessaire à sa résolution

Introduction (1+2 min)

La dynamique est une branche de la mécanique qui étudie les corps en mouvement sous l'influence d'actions. Les corps appartenant à un même système d'étude obéissent à des lois physiques régissant l'évolution de grandeurs caractéristiques. Grâce à ces lois, une étude dynamique permet d'en décrire l'évolution.

Certaines grandeurs telles que la quantité de mouvement, l'énergie et le moment cinétique sont conservées. Les lois de conservation permettent d'évaluer les grandeurs d'intérêt sans nécessairement connaître les détails du problème. Par exemple, lorsque l'on souhaite déterminer l'énergie requise pour un transfert d'orbite d'une hauteur h_A à h_B, il n'est pas nécessaire de connaître la trajectoire de l'objet.

Lors de l'étude d'un système physique, selon les données du problème, il nous sera possible de déterminer la grandeur d'intérêt, sans pour autant connaître l'évolution instantannée du système.

Dans un premier temps, nous rappellerons les lois de conservation et les illustrerons d'un exemple simple. Nous verrons ensuite quelques applications résolues par différentes méthodes, selon les situations.

Questions :

- Comment aborder la résolution d'un problème ?
- Quelle loi de conservation se prête le mieux à une situation donnée ?

Plan

A Les grandeurs conservées en physique (16 min)

A.1 La quantité de mouvement $\vec{p}$ (1 min)

- Invariance par translation - Homogénéité de l'espace.

A.2 L'énergie E (9 min)

A.2.1 Théorème de l'énergie mécanique (1 min)

- Invariance dans le temps - Homogénéité du temps.

A.2.2 Problème à deux corps : cas de la collision élastique (8 min)

Recherche de l'énergie seuil pour qu'une réaction nucléaire puisse se produire. D'abord dans le référentiel du CdM, puis dans le référentiel terrestre.

A.3 Le moment cinétique $\vec{L}$ (5 min)

A.3.1 Théorème du moment cinétique (1 min)

- Invariance par rotation - Isotropie de l'espace.

A.3.2 Corps dans un champ de forces centrales : Loi des aires de Kepler (1609) (4 min)

- Planéité de l'orbite d'une planète P autour de son étoile E.
- Aire balayée. Vitesse aréolaire : $dA = \frac{r_{EP}^2 \cdot \dot{\theta}_P}{2} \cdot dt$ et $c = \frac{L_E}{m_P} = cste$

B Applications (30 min)

B.1 Distance d'approche d'un astéroïde (6 min)

B.2 (*) Rayon d'une étoile à neutron (8 min)

- Rayon de l'étoile : vitesse de rotation (expérimentale) et conservation du moment cinétique.
- Comparer les OdG des densités pour vérifier qu'il s'agit d'une étoile à neutron.

B.3 (*) Durée nécessaire pour qu'un écrou atteigne le bas d'une vis (8 min)

Décomposition mécanique de l'énergie : $E_m = E_{c,translation} + E_{c,rotation} + E_p$

B.4 Un système ouvert : propulsion d'une fusée (8 min)

Conclusion (1 min)

En conclusion, nous avons pu constater que l'utilisation des lois de conservation de grandeur physique se prête particulièrement aux cas où il nous est impossible de connaître l'ensemble des données d'un problème. En effet, il suffit de connaître la valeur de certaines de ces grandeurs à des instants particuliers pour simplifier la résolution du problème, et en extraire les valeurs d'intérêt.

En outre, l'utilisation des lois de conservation ne se limite pas à l'étude des systèmes mécaniques. Le choix de ces trois grandeurs n'est pas anodin ; ce sont les grandeurs fondamentales dans l'étude des systèmes quantiques.

On pourra mentionner également que ces notions sont utilisées en mécanique des fluides pour démontrer le théorème de Bernoulli : on fait le bilan énergétique le long d'une ligne de courant, en considérant le fluide comme incompressible (forces pressantes sont à considérer) et parfait (non-visqueux, i.e. $\mathscr{R}_e \gg 1$).