

Titre : LP2 Lois de conservation en Dynamique

Présentée par : Richard WILD

Rapport écrit par : Camille MERIDJA

Correcteur : Robin ZEGERS

Date : 17/12/2019

Bibliographie de la leçon :

Titre	Auteurs	Éditeur	Année
Dunod Tout en un PCSI			2014
Physique Spé. MP*, MP et PT*, PT	Gié, Sarmant, Olivier, More	Tec & Doc	2000
Mécanique 1	Faroux, Renault	Dunod	1996
BUP 744 Le portrait de phase des oscillateurs	Gié et Sarmant		

Plan détaillé

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis : Théorèmes généraux de la Mécanique, pendule simple

Introduction : La physique est bâtie sur des lois de (non-)conservation, identifier des grandeurs physiques invariantes dans le cadre d'un problème physique permet d'en simplifier la formulation, et donc la résolution.

I) Lois de conservation

1) Conservation de l'impulsion

→ système mécanique isolé en référentiel galiléen => conservation du vecteur p

Exemple de la barque et du bonhomme qui se déplace dedans => déplacement de la barque

2) Conservation du moment cinétique

Vidéo d'illustration : https://youtu.be/2Oc-Ucx_4Ug

→ explication en considérant la variation du moment d'inertie

3) Conservation de l'énergie mécanique

→ pas de forces non conservatives ou travaux de celles-ci nuls => conservation de l'énergie mécanique

Exemple du pendule simple : obtention de l'équation du pendule, portrait de phase.

20 minutes

II) Application au problème de Kepler-Coulomb

1) Position et réduction du problème

→ équations du barycentre et du mouvement relatif, définition de la masse réduite

2) Conservation du moment cinétique

=> mouvement plan si moment cinétique non nul

3) Conservation de l'énergie mécanique

Notion d'énergie potentielle efficace → on a obtenu un problème à un seul degré de liberté !
Classification des trajectoires, états liés, états de diffusion

Conclusion sur le fait que l'identification d'invariants et de symétries permet donc de « réduire » des problèmes physiques a priori complexes comme dans le cas particulier du problème de Kepler dans lequel les invariants imposent totalement la dynamique ; c'est une démarche puissante et profonde.

37 minutes

Questions posées par l'enseignant

Est-ce que la conservation de l'impulsion implique que le système soit isolé ?

Est-ce que le système {barque-bonhomme} est isolé ?

Comment vérifier si la conservation de p est bien vérifiée ?

Est-ce que le TMC est toujours vrai ? Conditions d'application

Est-ce que vous auriez d'autres manip illustratives en tête que la vidéo de l'astronaute ? **roue de vélo**

On a négligé quoi dans notre modèle du pendule ?

Vous avez parlé de la « force de l'approche » du problème par le TEM, que vouliez vous dire ?

Est-ce que la période des oscillations du pendule est indépendante de leur amplitude ? **Il faut des corrections quand on s'éloigne des petits angles → à l'ordre 2 formule de Borda**

Pour le problème à 2 corps, après la réduction comment on remonte au mouvement réel ?

Toutes les forces centrales ont un potentiel en $1/r$? Le potentiel effectif à la forme obtenue pour tout potentiel en $1/r$? Ca serait quoi pour un potentiel avec une constante K de signe opposé ?

Comment on ferait pour obtenir la trajectoire ?

Comment on généralise l'importance des grandeurs conservées en mécanique analytique ?

Noether

Si on est plus en $1/r$ il se passe quoi ? **On perd une symétrie, on ne peut plus résoudre exactement sauf si il est en r^2 (OH)**

C'était quoi la grandeur conservée associée ? **Vecteur de Laplace/Runge-Lenz**

A quoi ça correspond physiquement ? **Excentricité de la conique**

Comment on pourrait raffiner le modèle pour un système réel comme le système {Terre-Soleil} **prise en compte de termes de marée**

En relativité comment on traduit les lois de conservations ? **Conservation de la quadri-impulsion**

Exemple de la radioactivité beta -

Comment on traite quantiquement le problème de l'atome d'hydrogène ?

Quel est alors l'effet des conservations ? **dégénérescence en l**

Qu'est-ce que vous pouvez me dire sur la conservation de l'énergie dans le problème de la barque ?

Commentaires donnés par l'enseignant

- En négligeant le frottement la barque est exactement isolée horizontalement
- Important : il manque la vitesse aréolaire comme conséquence de la conservation de L
- Il n'était pas nécessaire ici de retrouver l'équation différentielle du pendule, on aurait pu s'arrêter à l'énergie mécanique.
- Il faut amener précisément les hypothèses sur la force d'interaction dans le problème à 2 corps : centrale, newtonienne...
- On peut parler de chocs/diffusion (Rutherford) dans cette leçon, ou même de relativité...
- Il est intéressant de donner des idées sur la non conservation apparente de l'énergie mécanique dans le problème de la barque (énergie cinétique initialement nulle non nulle à l'état final) → énergie interne

Avis général sur la leçon (plan, contenu, etc.)

Plan raisonnable. Les prérequis devraient inclure la gravitation newtonienne qui apparaît dans le pendule pesant et surtout dans le problème de Kepler.

Dans l'exemple de la barque, les hypothèses doivent être plus clairement énoncées. En particulier, le fait que le système ne soit pas rigoureusement (pseudo-)isolé mais qu'on lui applique néanmoins la conservation de l'impulsion mérite une discussion plus soignée.

Peut-être est-ce un problème de lecture ou de visibilité à l'écran, mais la vidéo utilisée pour illustrer la conservation du moment cinétique et le rôle du moment d'inertie m'a paru peu convaincante. Une exploitation plus quantitative (avec une mesure de la vitesse angulaire de rotation par exemple) permettrait de lever toute ambiguïté.

La présentation des hypothèses concernant l'interaction considérée dans le problème à deux corps doit être plus précise et surtout plus complète.

Dans la deuxième partie, la conservation du moment cinétique est insuffisamment exploitée (constance de la vitesse aréolaire). Le lien doit être fait avec les lois de Kepler.

L'exploitation de la conservation de l'énergie mécanique par l'introduction d'un potentiel effectif n'est pas spécifique au problème de Kepler. En particulier, la discussion des états liés et des états de diffusion est plus générale. A l'inverse, il faut impérativement faire ressortir les spécificités du problème de Kepler parmi les problèmes à force centrale conservative (trajectoires coniques, périodicité etc).

Une ouverture vers la conservation de l'énergie totale peut être envisagée, en la mettant en évidence sur un exemple bien choisi.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates

Tous les théorèmes de conservation en mécanique. Savoir les lier aux symétries continues associées.

Dans le cas du problème de Kepler, exploiter les symétries dynamiques et la conservation du vecteur de Laplace associée.

Conservation en dynamique relativiste. Peut-être riche en exemples conceptuellement importants. Peut de toute façon être un sujet de questions pour le jury.

Théorème de Noether qui sous-tend toute la leçon sans pouvoir être précisément explicité et encore moins démontré.

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur)

Tabouret avec roue de vélo en rotation dont on modifie l'axe de rotation du plan horizontal vers la verticale, ou bien avec des poids qu'on rapproche/éloigne de l'axe de rotation du tabouret.

Chocs avec mobiles autoporteurs (mais probablement trop long à mettre en oeuvre)

