

Titre : LP M2 Dynamique en référentiel non galiléen

Présentée par : Mathieu Markovitch
Declerck

Rapport écrit par : Elise

Correcteur : Robin Zegers

Date : 23/11/20

Bibliographie		
Titre	Auteurs	Éditeur
HPrepa Mécanique 1 ^{ère} année	JM. Brébec	Hachette
Mécanique 1	R. Feynman	Dunod
Mécanique 1	Bertin, Faroux, Renault	Dunod
Polycopié de mécanique de L1 (Jussieu)	R. Bernard, P. Viot	

1 Plan détaillé

(indiquer parties, sous-parties, 1 ou 2 phrases d'explications par sous-partie, et références)

Niveau choisi pour la leçon : CPGE

Pré-requis :

- mécanique du point en référentiel galiléen
- changeement de référentiel

Introduction : exemple accélération transports/train/voiture

I- Référentiels non galiléens

1) Limitation du principe fondamental de la dynamique
ex d'un train accéléré, le pfd ne s'applique pas

2) Caractères non galiléens des référentiels usuels
terrestre (ex pendule de Foucault), géocentrique, Copernic+échelle de temps du caractère non galiléen

II- Forces fictives

1) Modification du pfd
pfd dans référentiel accéléré : accélération d'entrainement et Coriolis
forces d'inertie d'entrainement et Coriolis

ex translation uniformément accélérée et rotation uniforme autour d'un axe fixe
vidéo : manège et force centrifuge (Les 400 coups)
manip : jet d'eau sur un plateau tournant, dévié par la force de Coriolis

2) Aspects énergétiques des forces d'inertie
Coriolis ne travaille pas, modification du théorème de l'énergie cinétique

III- Applications

1) Accéléromètre
masse+ressort, relier longueur à l'équilibre à l'accélération.

2) Rotation de la Terre
effets centrifuges : contribution au champ de pesanteur
effet coriolis : écoulement géostrophique des vents autour d'une dépression
illustré par carte des vents du Vendée Globe

Conclusion : nombreuses applications
La gravité peut être considéré comme une force d'inertie (principe d'équivalence et relativité générale)

1 Questions posées par l'enseignant (avec réponses)

(l'étudiant liste les questions posées, ainsi que les réponses données par l'enseignant. Si certaines réponses manquent, l'enseignant pourra compléter le document)

Le référentiel terrestre doit-il avoir ses axes tangents à la surface ? Non les axes doivent seulement être fixes par rapport à la surface

Comment expliquer simplement le pendule de Foucault ? Se placer au pôle nord et utiliser le référentiel géocentrique

Quel est le mouvement du référentiel géocentrique par rapport au référentiel de Copernic ? Translation (quasi)circulaire

Temps caractéristique pour Copernic ? Temps de rotation galactique, 225 Ma

Comment sait-on qu'un référentiel n'est pas galiléen ?

Le temps caractéristique est-il suffisant pour déterminer le caractère galiléen d'un référentiel ? Il faut comparer les forces inertielles aux autres forces

Donner la formule de l'accélération d'entrainement

Mettre en évidence le caractère fictif de la force centrifuge avec la vidéo ? Elle ne s'exerce pas sur les spectateurs du manège

Mettre en évidence Coriolis ? Avec la manip du jet ou avec une balle lancée depuis le centre d'un plateau tournant

Accéléromètre le plus courant ? Condensateur piezo

Quels autres effets sont inclus dans la pesanteur ? Gravité due aux astres (marées)

Pour l'écoulement géostrophique quels effets faut-il prendre en compte ? Viscosité, gravité, gradient de pression ; écrire les nombres adimensionnés correspondant (Ekman, Rossby) pour comparer les effets. Ecrire Navier-Stokes dans ce cas.

Vidéo de vidange d'un seau de part et d'autre de l'équateur : effet Coriolis ? Non il est

négligeable, calculer les ordres de grandeur.

Développez sur le principe d'équivalence. Énoncé par Einstein en 1907 : les effets gravitationnels et inertiels sont indiscernables (masse inertielle=masse gravitationnelle) en tout point on peut annuler la pesanteur dans un référentiel localement inertiel, base de la relativité générale.

Egalité des masses inertielle et gravitationnelles vérifiée expérimentalement avec beaucoup de précision (satellite du cnes, barreaux concentriques)

1 Commentaires lors de la correction de la leçon

(l'étudiant note les commentaires relatifs au contenu de la leçon : niveau, sujets abordés, enchaînement, réponses aux questions, etc. L'enseignant relit, et rectifie si besoin)

Pourquoi pas énoncer le principe d'équivalence en intro

Ajouter la force gravitationnelle aux prérequis

Ne pas redéfinir les référentiels classiques, y passer moins de temps

Donner la formule générale pour l'accélération d'entrainement

Mieux exploiter le jet d'eau et la vidéo

Exploiter la partie énergétique avec une application aux marées

Redéfinir la pesanteur en III-1) ; supposer Terre sphérique homogène sans influence des astres

On peut mentionner le transport d'Ekman

Partie réservée au correcteur

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

Plan adapté. On peut imaginer que la discussion des principaux référentiels « galiléens »

et des limites dans lesquelles ils peuvent être considérés comme galiléens à fait l'objet d'une partie d'un cours précédent sur la dynamique en référentiel galiléen. Inutile donc d'y consacrer trop de temps ici, à moins d'illustrer explicitement leur caractère non-galiléen par une application bien choisie.

La distinction entre masse inertielle et masse gravitationnelle doit être mentionnée, au moins à travers un rappel d'une leçon précédente sur l'interaction gravitationnelle. Leur égalité et sa vérification expérimentale peuvent être abordées également, soit en début de leçon, soit comme application dans une section sur le champ de pesanteur terrestre par exemple. Ses conséquences sur la description de la gravitation en Relativité Générale peuvent être illustrées sur un exemple simple comme celui de l'accéléromètre en prenant bien soin toutefois de ne pas réduire la gravitation à une simple force d'inertie globale.

Le caractère « fictif » des forces d'inertie doit être dégagé en comparant, dans la mesure du possible, les descriptions d'une même situation physique dans un référentiel galiléen et dans le référentiel non-galiléen considéré. Cela a été très bien fait avec l'exemple du train accéléré. Il me paraît important de faire de même pour les autres forces d'inertie.

J'ai particulièrement apprécié les supports utilisés (vidéos du manège et carte des vents, ainsi que la manip. sur Coriolis), ainsi que le rythme posé de la présentation.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates :

Les différentes forces d'inertie

La distinction masse inertielle/masse gravitationnelle (au moins en rappel)

Champ de pesanteur, intérêt dans la dynamique en référentiel terrestre

Expériences possibles (en particulier pour l'agrégation docteur) :

-Jet d'eau sur plateau tournant pour illustrer Coriolis.

Bibliographie conseillée :

- Composition de Physique, Agrégation 1999, sur les marées.
- Problème Agrégation sur les marées, Concours ENS sur la tâche rouge de Jupiter à transposer au cas des dépressions dans l'atmosphère terrestre.