

Titre : LP M3 – Précession et approximation gyroscopique

Présentée par : Elise Declerck
Markovitch

Rapport écrit par : Mathieu

Correcteur : Robin Zegers

Date : 07/12/20

Bibliographie		
Titre	Auteurs	Éditeur
Mécanique	Pérez	
Gyroscopes et gyromètres	Radix	
Toute la mécanique	BFR	
Mécanique II	BFR	
Cours de Berkeley		

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 : TMC, dipôles magnétiques, pesanteur

Introduction et manip avec gyroscope et toupie

I – Définitions

- 1 Angles d'Euler
- 2 Approximation gyroscopique
- 3 Mouvement du gyroscope

II – Applications du gyroscope

- 1 Gyrocompas
- 2 Gyroscope anti-roulis

III – Mouvements de précession

- 1 Précession des équinoxes
- 2 Précession de Larmor (spin)

Conclusion et description d'applications, notamment la RMN

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)

- Pourquoi déséquilibrer le gyroscope ? Pour avoir de la précession.
- Pourquoi on parle de gyroscope de Foucault ? Il fait partie des expériences réalisées par Foucault.
- C'est quoi le pendule de Foucault ? Pour cette question comme pour la précédente, il s'agissait de préciser l'intérêt du gyroscope dans l'observation de la rotation propre de la Terre.
- Les angles d'Euler correspondent-ils aux mouvements de rotation/précession/nutation ? Non, c'est plutôt la variation de ces angles.
- L'approximation gyroscopique se résume-t-elle à $\mathbf{\Omega} = \Omega \mathbf{e}_z$?
- Non elle s'exprime en fonction du moment cinétique. Il faut un moment d'inertie important dans la direction de l'axe de symétrie de révolution
- Comment l'expliquer à des étudiants ?
- Quel est le moment d'inertie du gyroscope utilisé ? Il est inscrit dessus.
- A quoi sert l'approximation gyroscopique dans le cas du gyroscope présenté ? On simplifie les équations du mouvement en ne conservant que le mouvement de rotation propre.
- Quelles sont les équations du mouvement dans cette approximation ?
- Pourquoi calculer le moment cinétique dans le référentiel lié au solide ?
- Expression plus simple
- Montrer le point O sur le gyroscope.
- Liaison avec le support
- Comment est la réaction du support sur le gyroscope ?
- Opposée à la résultante des autres forces (O fixe), point d'application en O (moment /O nul)
- Pourquoi l'axe décrit-il un cône ? On montre que l'extrémité décrit un cercle, et l'axe décrit un cône par révolution.
- La toupie présente-t-elle de la nutation ? Oui un peu.
- Réexpliquer le principe du gyrocompas.
- Immobile dans le référentiel géocentrique, en mouvement dans le référentiel terrestre (autour de l'axe Nord-Sud, indique le nord géographique, et la latitude)
- Est-ce qu'on l'utilise encore ? Pas vraiment. (voir gyroscope laser, effet Saynag)
- Mêmes questions sur l'anti-roulis.
- Sur les bateaux de plaisance. Sinon on utilise des ailerons.
- Comment observe-t-on la précession des équinoxes ?
- Lever du Soleil à l'équinoxe par rapport aux constellations. Changement de l'étoile polaire (aka la plus proche de l'axe de rotation au nord, vue quasi immobile).
- Qu'est-ce que l'équinoxe ? Durée du jour = durée de la nuit. Le Soleil est à l'aplomb de l'équateur.
- Quel est le nom du facteur γ pour le moment magnétique ? C'est le facteur gyromagnétique.
- C'est quoi le facteur de Landé ? C'est le facteur g qui permet des corrections quantiques au facteur gyromagnétique.
- Peut prendre différentes valeurs ? Oui, ça dépend de la particule considérée.

($g=5$ pour le proton)

- On mesure quoi en RMN ? On observe les durées de relaxation des spins en précession après excitation par un champ magnétique.

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)

Il y a beaucoup de choses dans la leçon, il faut être très clair sur le principe des applications (gyrocompas et gyroscope anti-roulis).

Définir les systèmes considérés.

Attention aux points d'application des forces (O pour la réaction du support, le centre de gravité G pour les forces de pesanteurs) pour le calcul des moments.

Partie réservée au correcteur

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

Leçon parfois confuse malgré un plan correct.

Dans la définition de l'approximation gyroscopique, ne pas omettre le rôle des moments d'inertie. Il faut aussi mettre en avant l'intérêt de cette approximation et penser à s'assurer qu'elle est bien vérifiée dans les applications présentées.

Au niveau des résultats généraux de la leçon, il est impératif, une fois obtenue l'« équation de la précession », de montrer pourquoi elle conduit bien à un mouvement de précession. Pour plus de clarté, la notion de couple gyroscopique doit être introduite avant d'en présenter des applications. La présentation des angles d'Euler peut se faire sur des slides, en les illustrant simultanément sur le gyroscope par exemple. Il devient alors inutile de les redessiner au tableau.

Les applications doivent être traitées de manière plus approfondie et il importe de bien montrer en quoi elles illustrent les résultats généraux de la leçon.

Pour la précession des équinoxes, il n'est évidemment pas question de calculer pendant la leçon le couple résultant de l'action du champ gravitationnel (essentiellement du Soleil et de Lune) sur le solide non-sphérique Terre et on admettra naturellement son expression en se contentant de la justifier par une brève discussion physique. On peut envisager de la présenter sur un slide afin d'éviter de perdre du temps à l'écrire au tableau et une illustration graphique, même très idéalisée, des forces en jeu ne peut qu'aider à la compréhension. En revanche, il est indispensable de relier cette application au reste de la leçon et de montrer pourquoi on obtient bien un mouvement de précession autour de la normale au plan de l'écliptique. Pour cela, une discussion des directions respectives du couple résultant, du moment cinétique de la Terre dans l'approximation gyroscopique et de la normale au plan de l'écliptique est incontournable. Il s'agit essentiellement d'observer que le couple résultant peut s'écrire, à chaque instant, comme un multiple du produit vectoriel du moment cinétique de la Terre dans l'approximation gyroscopique par la normale constante au plan de l'écliptique. On retrouve ainsi l'équation de la précession. Une vérification a posteriori de l'approximation gyroscopique est souhaitable ici aussi.

Mêmes remarques concernant le gyroscope anti-roulis où le principe doit pouvoir être exposé de manière simple en invoquant des résultats précédents concernant le couple gyroscopique. Les directions des différents vecteurs en jeu doivent être explicitées.

La notion de précession dans le domaine microscopique ayant disparu du titre, la RMN n'est plus un passage obligé. C'est néanmoins une application très intéressante, riche en applications, mais qu'il faut impérativement maîtriser et à laquelle il faut pouvoir consacrer un temps suffisant, ce qui a clairement manqué ici.

Notions fondamentales à aborder, secondaires, délicates :

Approximation gyroscopique

Equation de la précession.

Angles d'Euler

Eventuellement couple gyroscopique

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

Diverses manips avec le gyroscope.

Bibliographie conseillée :