

Programme de colles Physique PC* - Semaine 16

Une colle comportera :

- une question de cours à traiter en moins de 15 minutes,
- un exercice.

Une question de cours non suivie entraînera une note inférieure à la moyenne.

Les démonstrations à savoir (questions de cours - non exhaustives - typiques pouvant être posées par l'examinateur) sont marquées en rouge et introduites par le symbole ☐.

Capacités numériques

Capacités numériques 8, 9, 10 et 11

Résolution de l'équation de diffusion par une méthode d'Euler explicite (la seule au programme).

Utilisation de Numpy.

Étude d'un mouvement dans une force centrale

Étude de la déviation vers l'Est.

Mécanique 2

Dynamique du point en référentiel non galiléen

1 Changements de référentiels en mécanique classique

1.1 Notion de référentiel

1.2 Référentiel en translation

1.2.1 Rappel : Définition de la translation

1.2.2 Composition des mouvements

1.2.3 Composition des vitesses

Connaître la loi de composition des vitesses.

1.2.4 Composition des accélérations

Connaître la loi de composition des accélérations.

1.2.5 Cas particulier de la translation rectiligne uniforme : transformation de Galilée

1.2.6 Notion de point coïncident

1.3 Référentiels galiléens

Définition d'un référentiel galiléen, référentiels de Copernic, de Kepler, géocentrique et terrestre.

1.4 Référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe

1.4.1 Définition de la rotation

1.4.2 Composition des mouvements

1.4.3 Composition des vitesses

1.4.4 Composition des accélérations

☐ Connaître la composition des accélérations en utilisant le point coïncident. Savoir l'expression de la force de Coriolis.

2 Loi de la quantité de mouvement - Théorème du moment cinétique

2.1 Référentiel en translation

☒ Savoir écrire le PFD et le TMC dans le cas d'un référentiel non galiléen en translation. Connaître les expressions des forces d'inertie d'entrainement et de Coriolis.

2.2 Référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe.

☒ Savoir écrire le PFD et le TMC dans le cas d'un référentiel non galiléen en translation. Connaître les expressions des forces d'inertie d'entrainement et de Coriolis.

3 Étude énergétique en référentiel non galiléen

3.1 Travail de la force de Coriolis dans un référentiel non galiléen

La force de Coriolis ne travaille pas.

3.2 Théorème de l'énergie cinétique

3.3 Calcul du travail de la force d'inertie d'entrainement dans 2 cas usuels

3.3.1 Cas d'un référentiel en translation rectiligne uniformément accéléré par rapport au référentiel galiléen

3.3.2 Cas d'un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe (Oz) fixe

☒ Connaître l'expression de l'énergie potentielle d'entrainement ainsi que sa démonstration.

3.3.3 Théorème de l'énergie mécanique dans un référentiel non galiléen

4 Référentiels géocentrique et terrestre

4.1 Caractère non galiléen du référentiel géocentrique

Les marées ont été abordées et le terme différentiel doit savoir être redémontré

4.2 Caractère non galiléen du référentiel terrestre

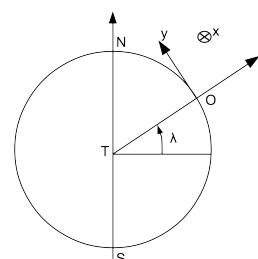
4.2.1 Influence de la force d'inertie d'entrainement - Champ de pesanteur

L'exercice ci-dessous peut-être considéré comme exercice de cours.

Exercice :

On suppose que le référentiel géocentrique est galiléen (les marées sont négligées). La Terre tourne autour de son axe Nord-Sud dans le référentiel géocentrique à la vitesse angulaire Ω_T constante. Le rayon de la Terre est noté $R_T = 6300\text{ km}$ et son centre est noté T . La masse de la Terre est $M_T = 6,0 \cdot 10^{24}\text{ kg}$ et la constante de gravitation universelle vaut $G = 6,67 \cdot 10^{-11}\text{ SI}$.

On se place à la surface de la Terre en un point O situé à la latitude λ . On définit localement un repère $(Oxyz)$ avec z situé selon l'axe (TO) . \vec{u}_y est orienté vers le Nord et \vec{u}_x vers l'Est.



1. Donner la valeur numérique de Ω_T .

Considérons une masse m accrochée par un fil de longueur l à un point A fixe dans le référentiel terrestre situé à la surface de la Terre. Le poids $m\vec{g}$ est défini comme l'opposé de la force de tension exercée par le fil sur la masse à l'équilibre. \vec{g} est le champ de pesanteur local.

Dit de manière différente, on définit la verticale localement par un fil à plomb : la verticale est donnée par la direction du fil à plomb et est donc dans la direction de \vec{g} .

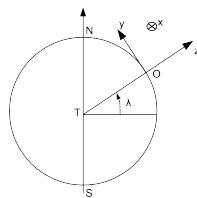
2. En étudiant l'équilibre de la masse accrochée au fil, déterminer l'expression de \vec{g} en fonction de G , M_T , R_T , Ω_T , λ et de vecteurs unitaires que l'on précisera. Le champ de pesanteur est-il identique au champ gravitationnel ?
3. Montrer que la contribution de l'accélération d'entrainement dans l'expression de \vec{g} est faible devant l'accélération due au champ gravitationnel.
4. Pour quelle latitude l'intensité de la pesanteur est-elle la plus faible ? Que vaut-elle ? Pour quelle latitude l'intensité de la pesanteur est-elle la plus élevée ? Que vaut-elle ?
5. Pour $\lambda = 45^\circ$, déterminer l'ordre de grandeur de l'angle entre \vec{g} et \vec{u}_z .

4.2.2 Influence de la force d'inertie de Coriolis - Chute libre et déviation vers l'Est

L'exercice ci-dessous peut-être considéré comme exercice de cours.

Exercice :

La Terre tourne autour de son axe Nord-Sud dans le référentiel géocentrique à la vitesse angulaire Ω_T constante. Le centre de la Terre est noté T . On se place à la surface de la Terre en un point O situé à la latitude λ . On définit localement un repère ($Oxyz$) avec z situé selon l'axe (TO). \vec{u}_y est orienté vers le Nord et \vec{u}_x vers l'Est.



On creuse au niveau de O un puits dans la direction \vec{u}_z de profondeur h . On lâche une masse m ponctuelle en O sans vitesse initiale. On supposera que le champ de pesanteur \vec{g} est selon \vec{u}_z . On néglige les frottements de l'air.

1. La vitesse de la masse est dans le cas général $\vec{v} = \dot{x}\vec{u}_x + \dot{y}\vec{u}_y + \dot{z}\vec{u}_z$. Déterminer les trois composantes de la force d'inertie de Coriolis.
2. On suppose que les mouvements selon x et y se font à des vitesses négligeables devant celle de la chute libre. En déduire une simplification de la force de Coriolis.

3. Déterminer l'instant τ auquel la masse touche le fond du puits. La masse touche-t-elle le fond du puits à la verticale de O ? Si non, dans quel sens s'est-elle déplacée ? Quelle est la distance D entre le point d'impact de la masse et le point la verticale de O au fond du puits ? Faire l'application numérique pour $h = 160$ m et une latitude de 45° . La valeur expérimentale obtenue est $D = 2,8$ cm.

Autres exercices pouvant être posés en question de cours :

Exercice :

Dans le film de François Truffaut "Les 400 coups", le héros, Antoine Doinel, se rend à une fête foraine et pénètre dans un des manèges appelé "le rotor", constitué d'un énorme cylindre vertical qui tourne autour de son axe. Les passagers pénètrent à l'intérieur et s'installent contre la paroi du cylindre. Le cylindre est mis en rotation, d'abord lentement puis de plus en plus vite. Quand la vitesse de rotation est suffisamment grande, le plancher est retiré et les passagers restent collés contre la paroi du cylindre.

1. Expliquer pourquoi les passagers restent collés contre la paroi. Quelle est la force qui les empêche de tomber ? Est-ce sans danger ? Que ressent Antoine Doinel quand il essaie de décoller un bras ou une jambe ?
2. On appelle μ le coefficient de frottement. Déterminer la valeur minimale de la vitesse de rotation du cylindre, en fonction du rayon a du cylindre, de g et de μ , à partir de laquelle on peut retirer le plancher.
3. Application numérique : $a = 4,0$ m, $\mu = 0,4$. Calculer la vitesse minimale de rotation du cylindre en tours par minute.

Exercice :

Estimer la force d'inertie de Coriolis du TGV Paris-Toulouse lorsqu'il se déplace vers le sud.

5 Mécanique des fluides en référentiels non galiléens

5.1 Statique des fluides

Forme de la surface d'un liquide pour un référentiel en translation uniformément accéléré par rapport au référentiel terrestre.

Forme de la surface d'un liquide pour un référentiel en rotation uniforme autour d'un axe fixe dans le référentiel terrestre.

5.2 Écoulement dans un référentiel non galiléen

Un exercice a été traité en TD pour introduire la généralisation des relations de Bernoulli mais tout exercice devra être guidé.

1 Équations de Maxwell

1.1 Formulation

Connaître par cœur les équations de Maxwell ainsi que leur nom

1.2 Remarques

1.3 Conservation de la charge électrique

Savoir retrouver l'équation locale de conservation de la charge à partir des équations de Maxwell

2 Expression intégrale des équations de Maxwell

Savoir retrouver les expressions intégrales. Savoir retrouver en particulier la loi de Faraday.

3 Relations de passage

Hors-programme.

4 Notion de potentiel vecteur

Hors-programme.

5 Aspects énergétiques

5.1 Puissance volumique reçue par la matière de la part du champ

Savoir remontrer que $dP/dV = \vec{j} \cdot \vec{E}$

Application à l'effet Joule, démonstration de $P = RI^2$ pour un barreau parallélépipédique.

5.2 Équation locale de conservation de l'énergie électromagnétique

La démonstration des expressions du vecteur de Poynting et de la densité volumique d'énergie électromagnétique est faite mais est hors-programme.

Les expressions sont par contre à connaître par cœur.

Électromagnétisme 6

ARQS - Induction électromagnétique

1 ARQS

Définition, critère de validité de l'ARQS, conséquences sur les équations de Maxwell.

2 Circuit fixe dans un champ magnétique dépendant du temps

2.1 Loi de Faraday

2.2 Principe de modération de Lenz

La fém induite tend à s'opposer par ses conséquences aux phénomènes qui lui ont donné naissance.

3 Inductance propre - Inductance mutuelle

Définitions, exercice d'application sur le couplage entre deux circuits. Application au transformateur.

4 Circuit mobile dans un champ magnétique stationnaire

Exercice du rail de Laplace, principe de l'alternateur.

Ondes 3

Ondes acoustiques dans les fluides

1 Équation de propagation d'une onde acoustique dans un fluide

1.1 Hypothèses d'étude - approximation acoustique

Les 5 hypothèses d'étude doivent être connues, en particulier l'approximation acoustique

1.2 Obtention de l'équation de d'Alembert pour la surpression

Savoir linéariser l'équation d'Euler, l'équation de conservation de la masse et savoir utiliser le coefficient de compressibilité isentropique (dont la définition doit être connue) afin d'obtenir l'équation de d'Alembert pour la surpression.

L'établissement de l'équation de d'Alembert pour la vitesse a été vu mais est à la limite du programme.

Connaître l'expression de la célérité d'une onde acoustique dans un fluide et discuter son expression (compressibilité du fluide, influence de l'inertie).

1.3 Célérité dans le cas d'un gaz parfait

Savoir redémontrer l'expression de la célérité dans le cas du gaz parfait.

Connaître les ordres de grandeurs de la célérité dans un gaz et dans un fluide.

1.4 Solution de l'équation de d'Alembert

Rappels de début d'année sur la solution sous forme d'une superposition de deux OPP. Forme de l'OPPM.

1.5 Impédance acoustique

Savoir retrouver l'expression de l'impédance acoustique dans le cas d'une OPPM.

1.6 Cas de l'onde sphérique

Champ proche, champ lointain, expression de v obtenue à partir de l'expression de p donnée, impédance de l'onde.

2 Aspects énergétiques

2.1 Vecteur densité de flux de puissance acoustique

Connaitre l'expression de ce vecteur $\vec{\Pi} = p \vec{v}$ et sa signification physique.

2.2 Équation locale de conservation de l'énergie acoustique

La démonstration de cette équation est hors-programme mais il faut connaître l'expression de la densité volumique d'énergie e acoustique.

2.3 Cas d'une OPPM

Savoir retrouver les expressions de $\langle \vec{\Pi} \rangle$ et de $\langle e \rangle$ dans le cas d'une OPPM. Le lien entre ces deux expressions sera détaillé ultérieurement dans le cours sur les ondes électromagnétiques.

2.4 Intensité d'une onde acoustique, niveau sonore

Connaitre la définition de l'intensité d'une onde acoustique ainsi que du niveau sonore.

Établir le lien entre l'intensité d'une OPPM et son amplitude (en vitesse ou surpression)

2.5 Retour sur l'approximation acoustique

À partir des valeurs extrêmes du niveau sonore, savoir vérifier numériquement après-coup que l'approximation acoustique est vérifiée.

2.6 Application à l'onde sphérique

Savoir retrouver l'intensité de l'onde dans le cas d'une onde sphérique dans les deux zones. Puissance totale traversant une sphère de rayon r . Application à la sphère oscillante.

3 Réflexion et transmission d'une onde acoustique à un changement de milieu

3.1 Cas d'un milieu unidimensionnel à section constante

Savoir retrouver les coefficients de réflexion et de transmission en amplitude au passage entre deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2 respectivement.

Savoir retrouver les coefficients de réflexion et de transmission en puissance au passage entre deux milieux d'impédances Z_1 et Z_2 respectivement.

3.2 Cas d'une paroi massique entre deux fluides

L'exercice suivant peut être considéré comme exercice de cours.

Exercice :

On considère une paroi séparant un milieu intérieur (air) d'un milieu extérieur (air également) située initialement dans le plan $x = 0$. Une onde acoustique se propage dans le sens des x croissants depuis le milieu intérieur vers le milieu extérieur.
On modélise la paroi par une tranche infiniment fine de section S .

1. Donner la relation entre S , la masse volumique ρ de la tranche et sa masse surfacique σ .
2. Quelle doit être la relation entre l'épaisseur L de la paroi et la longueur d'onde λ pour pouvoir considérer que tout "vibre en bloc". Quelle relation vérifient donc les vitesses de part et d'autre de la paroi ?
3. Trouver l'expression du coefficient de transmission en amplitude associé à la surpression, puis l'expression du coefficient de transmission énergétique T après avoir rappelé sa définition.
4. Tracer $T_{dB} = 10 \log_{10}(T)$. De quel type de filtre s'agit-il ?

4 Ondes sonores planes stationnaires - Application aux instruments de musique

4.1 Onde stationnaire dans un tuyau

4.2 Modes propres d'une cavité

Cas ouvert-ouvert, fermé-fermé et ouvert-fermé.