

LP16. Mouvement, interaction et notion de champ

Niveau : Terminale S

Pre-requis :

- * Lois fondamentales de la mécanique classiq.
- * Force gravitationnelle
- * Force coulombienne
- * Le poids
- * Notion de vecteurs et scalaires
- * Référentiel Galiléen
- * Intégration mathématique

Bibliographie

Expérience : Détermination de $\vec{g}$ par chute libre

Déviations dans un champ électromagnétique

Pendule + capteur ? À essayer avant (logiciel traitement vidéo)

Introduction Pédagogie

- * Ce cours se place effectivement dans le thème "Comprendre", les notions de mouvement et d'interaction sont abordées dès la classe de seconde, et la notion de champ en 1^{ère}
- * S'ai choisi de placer ce cours enterrinal car il nécessite de maîtriser beaucoup de notions de mécanique afin de faire l'étude des mouvements
- * Ce cours vient après en cours sur les lois fondamentales de la mécanique classique
- ↳ En considérant que les élèves maîtrisent le pFD ainsi que les forces usuelles
- * Le but de ce cours est de mettre en application toutes les connaissances qu'ils ont acquise au lycée pour étudier les mouvements des systèmes en fonction des interactions qu'ils subissent.
- * On ne développera pas dans ce cours les interactions fortes et faibles, on ne parlera que des interactions électrostatiques et gravitationnelles.
- * Les difficultés de ce cours se retrouvent dans la modélisation mathématique des systèmes et dans le développement des calculs. $\Rightarrow$ pas à pas
- * Pour faciliter la compréhension de l'élève on commencera par traiter le cas gravitationnel car plus intuitif pour l'élève
- * On cherchera à donner des exemples pour illustrer nos propos et permettre à l'élève de mieux appréhender les notions
- * Comprendre la notion de champ peut ne pas être aisé pour l'élève, on essaiera de l'illustrer avec des exemples qu'il connaît pour aider à la compréhension.
- * On pourra faire TD sur l'étude de mouvement avec différents systèmes et différentes forces
- * TP sur le pendule avec un cutter pour étudier la trajectoire et apprendre à utiliser les logiciels de traitement de vidéos
- * Étude de cloe sur planètes pour introduire le cours suivant.

Introduction.

- * Bonjour à tous, aujourd'hui on va réutiliser nos connaissances de mécanique de 2nd et de premier pour étudier le mouvement des objets
- * On va expliquer pourquoi quand je lâche un objet il tombe, c'est quelque chose qu'on expérimente tout les jours
- * Mais on verra qu'il y a d'autres phénomènes qui se produisent d'autant qu'on ne se rend pas forcément compte.

Objectif : Connaître les interactions fondamentales

Comprendre la notion de champ, s'en servir pour déterminer les interactions entre un champ et un objet afin de déterminer son mouvement

Transition On va commencer par voir ce qu'est une interaction.

I - Champs et interactions

A - Les interactions fondamentales donner la def.!

- * Dans le monde il y a 4 interactions fondamentales qui sont responsable des phénomènes physiques que l'on observe et qui font que le monde est ce qu'il est
- * L'interaction forte: projection
 - Elle est à très courte distance: 10^{-15} m
 - C'est la taille d'un proton $\Rightarrow$ c'est elle qui assure la cohésion du noyau des atomes
- * L'interaction faible projection
 - Elle est à l'origine de la radioactivité β (autres types?)
- * L'interaction électromagnétique projection
 - Elle a lieu entre deux particules chargées.
 - Elle s'applique sur beaucoup de systèmes et dans beaucoup de domaines
- * L'interaction Gravitationnelle projection.
 - Elle a lieu entre deux objets qui ont une masse.
 - Elle est à l'origine du mouvement des planètes

Transition : On connaît les types d'interactions, mais comment est ce qu'on peut étudier l'impact de ces interactions sur un système?

↳ Par là on introduit la notion de champ.

B. Notion de champs

- * Un champ en physique c'est quoi ?
- * C'est une propriété physique définie en tout point de l'espace, modélisée par une valeur :
 - un scalaire, on parle de champ scalaire
 - un vecteur, " " " vectoriel.

* C'est le cas par exemple des températures ou du vent à la météo

↳ projection

* Mais ceux qui vont plus nous intéresser ici, ce sera les champs qui modélisent les interactions gravitationnelles ou électrostatiques.

* Un champ électrostatique peut être créé par une particule chargée,

↳ il vaut

$$\vec{E} = \frac{q_A}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}$$

propto

V.m⁻¹

Permittivité du vide : $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2 \text{ s}^4 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-3}$

* Ce qui est intéressant pour nous c'est de regarder l'interaction qu'il se crée entre une particule et un champ :

↳ Elle se modélise par une force :

$$\vec{F} = q_B \vec{E} = \frac{q_A q_B}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{u}_{AB} \quad \text{force Coulomb.}$$

↳ Par un électron et un atome : $\|\vec{F}\| = \frac{(1.6 \cdot 10^{-19})^2}{4\pi \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \times 100 \cdot 10^{-12}} \approx 2.3 \cdot 10^{-8} \text{ N.}$

* On peut faire exactement la même chose avec le champ gravitationnel.

On sait que $\vec{F} = -G \frac{m_A m_B}{r^2} \vec{u}_{AB} = m_B \times \vec{G}$ propto

⇒ champ Gravitationnel

$$\vec{G} = -G \frac{m_A}{r^2} \vec{u}_{AB}$$

m¹.s⁻² = N.kg⁻¹

=> Quel est ce que ça donne à la surface de la Terre

$$\vec{G} = - 6.67 \cdot 10^{-11} \times \frac{5.97 \cdot 10^{24}}{(6.37 \cdot 10^6)^2} = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$$

↳ On peut approximer sur Terre $\vec{F} = m_B \vec{G} \simeq m_B \vec{g} = \vec{P}$

↳ avec $g = 9.81 \text{ m.s}^{-2}$ accélération de la pesanteur
ou champ de pesanteur projo

Transition : On sait comment les champs gravitationnels et électrostat. interagissent avec des objets massifs et chargés.

Est-ce qu'on peut s'en servir pour prédire des mouvements ?

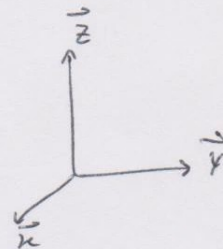
II - Mouvement dans le champ de pesanteur

A - Etude du mouvement

* On se place dans le référentiel du labo Galiléen

* Le système c'est la bille qu'on lâche

* Force : $\vec{p} = m \vec{g}$



$$\text{PFD: } m \frac{d\vec{v}}{dt} = m \vec{g} = -mg \vec{u}_z$$

* En projetant :

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} v_x = \alpha \\ v_y = \beta \\ v_z = -gt + \delta \end{cases} \xrightarrow{\vec{v}_0 = \vec{0}} \begin{cases} v_x = 0 \\ v_y = 0 \\ v_z = -gt \end{cases}$$

$$\longrightarrow \begin{cases} x = a \\ y = b \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + c \end{cases} \xrightarrow{z_0 = h} \begin{cases} x = 0 \\ y = 0 \\ z = h - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

* La bille va tomber et touche le sol quand $z = 0 \Leftrightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

↳ ça ne dépend pas de la masse de l'objet

↳ vidéo à 2:50

* On sait que dans la vie la boule de Bowling tombera plus tôt

↳ la l'expat dans la vidéo, mais normalement on a des frottements

↳ cf animation frottement

* Si on regarde cette image de Tintin, le capitaine fait des saut plus grand

↳ c'est parce que le champ de pesanteur est plus faible

$$\hookrightarrow \vec{g}_{mars} = -6.67 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{7.35 \cdot 10^{22}}{(1.76 \cdot 10^6)^2} = -1.62 \text{ m.s}^{-2}$$

↳ on a bien $\|\vec{g}_{mars}\|/\|\vec{g}_{terre}\| \approx 0.06$. Tintin a raison : cf animation

Transition : Au vu des équations ci-dessus on devrait pouvoir mesurer $\vec{g}$.

C. Mesure expérimentale de g

* On a un système ici on va pouvoir lâcher une bille et ça va déclencher des chronomètres qui s'arrêteront quand la bille passera devant les capteurs.

* Comme on l'a vu avec le PFD :

$$\frac{dv}{dt} = g \approx \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = g$$

* On va donc mesurer des temps et remonter à v avec la relation $v = d/t$

* ~~Expériences avec incertitude de type A.~~ Vidéo EPFL. @présentat dispositif

* On relève les valeurs

$$h_1 = 0.1 \text{ m} \leadsto t_1 = 0.1431 \text{ s}$$

$$h_2 = 0.5 \text{ m} \leadsto t_2 = 0.3184 \text{ s}$$

$$h_3 = 1.0 \text{ m} \leadsto t_3 = 0.4509 \text{ s}$$

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow v_{12} &= \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1} = 2.28 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\ \Rightarrow v_{32} &= \frac{h_3 - h_2}{t_3 - t_2} = 3.77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned} \right\} g = \frac{v_{32} - v_{21}}{\frac{t_3 + t_2}{2} - \frac{t_2 + t_1}{2}} = 9.68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

* Il faudrait évaluer les incertitudes pour avoir un meilleur résultat, et faire plusieurs mesures

Transition : Faisons une expérience de pensée qui est le boulet de canon de Newton :

↳ Animation

↳ On peut décrire les objets qui gravitent autour du soleil de cette façon

III. Mouvement dans un champ électrostatique.

A. Quelles forces prendre en compte ?

* On a vu en première partie qu'une particule chargée dans un champ électrostatique subissait une force $\vec{F} = q \vec{E}$

* Cette fois on utilise un champ créé par un condensateur et pas par une particule.

* Dans notre dispositif on applique une tension de 2.3 kV entre 2 plaques espacées de 5 cm

$$\Rightarrow E = U/d = \frac{2.3 \cdot 10^3}{5.0 \cdot 10^{-2}} = 4.6 \cdot 10^4 \text{ V.m}^{-1}$$

* Mais l'électron a aussi une masse et subit donc l'interaction gravitationnelle et électromagnétique

↳ On doit prendre en compte les deux

* Si on regarde la norme des deux forces:

$$\|\vec{P}\| = m \cdot g = 9.1 \cdot 10^{-31} \times 9.81 = 8.9 \cdot 10^{-30} \text{ N}$$

$$\|\vec{F}_e\| = q \cdot E = 1.6 \cdot 10^{-19} \times 4.6 \cdot 10^4 = 7.4 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

↳ $F_e \gg P$ on néglige l'interaction gravitationnelle.

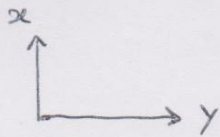
Transition: Dans mon montage j'ai un champ électrique et des électrons, ^{Exp.} est
ce que j'aurais pu prévoir cette trajectoire ? 

B. Etude de la trajectoire

* On applique la même méthode mais cette fois l'électron a une vitesse initiale

* Système: e^-

* Ref: Labo Galilée



* PFD:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -e \cdot \vec{E} \Rightarrow \begin{cases} m \cdot a_x = 0 \\ m a_y = -e E \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} v_x = \alpha \\ v_y = -\frac{eE}{m}t + \beta \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & \xrightarrow{v_{x0} = v_0} \begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = -\frac{eE}{m}t \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} x = v_0 t + a \\ y = -\frac{eE}{2m}t^2 + b \end{cases} \longrightarrow \begin{cases} x = v_0 t \\ y = -\frac{eE}{2m}t^2 + y_0 \end{cases} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow t = x/v_0$$

$$\Rightarrow y = -\frac{eE}{2mv_0^2} \cdot x^2 + y_0 \quad : \text{on obtient une parabole c'est bien ce qu'on semble avoir}$$

↳ Modélisation ?

Conclusion : On a étudié dans ce cours 2 types d'interactions, gravitationnelle et électrostatique.

On a vu des objets placés dans des champs subissent des interactions que l'on peut modéliser par des forces, et qu'ils donnent leur mouvements aux objets.

On verra au prochain cours qu'on peut l'appliquer aussi aux planètes