MP 01 : Dynamique du point et du solide.

Elio Thellier.

Session 2021.

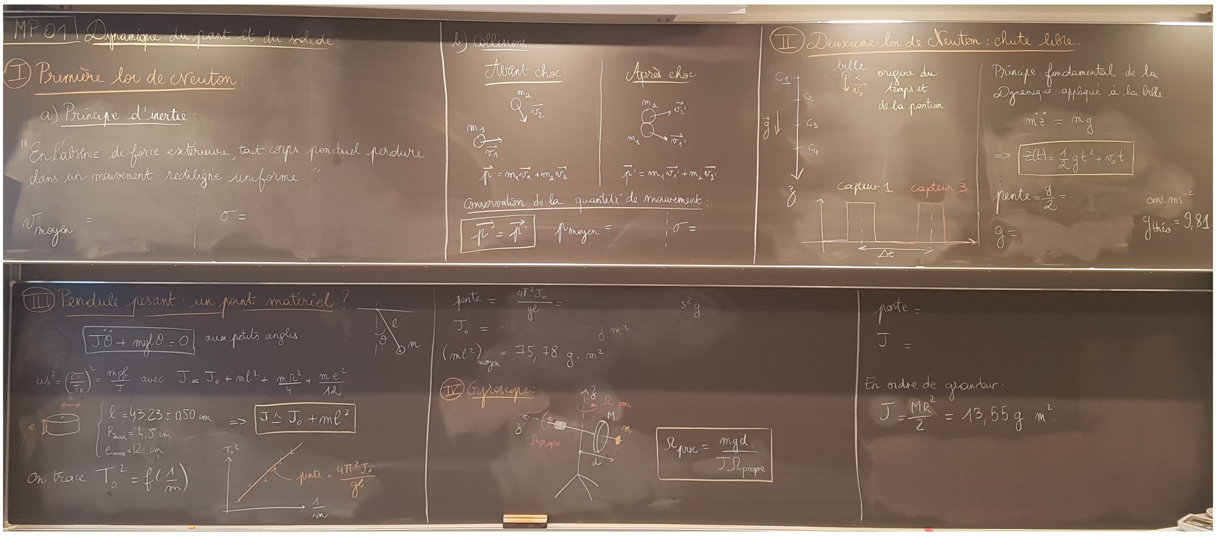

Figure 1: Première partie supprimée pour cause de matériel perfide et malingre.

Introduction

Système, référentiel, bilan des actions, incertitudes.

1 Déviation d'un électron, mécanique du point.

L'électron est, dans la limite de nos connaissances actuelles, une particule élémentaire, de masse $m = 9.1.10^{-31}kg$. En faisant abstraction de son aspect ondulatoire, il est ce qui se rapproche le plus d'un point matériel, idéal donc pour entamer notre exposé.

- La manip de déviation de l'électron avec une ampoule à vide, un fil de tungstène, deux plaque à champ $\overrightarrow{E}$ pour l'accélération initiale, une plaque quadrillée luminescente et deux bobines de Helmoltz (connaître le principe cf wikipedia).
- Une alimentation haute tension (5kV pour accélérer les électrons) avec aussi une sortie 6V pour chauffer le Tungstène.
- Une alimentation courant continue 20V (pour alimenter les bobines de Helmoltz)
- Un multimètre de table (de précision) pour le courant dans les bobines.

<u>**Attention !**</u> qui dit bobine dit inductance, dit INTERDICTION de couper subitement le courant (off de l'alim, débrancher un cable, changer de décade sur un multimètre...) sinon immense tension ($U = L\frac{dI}{dt}$) et dégradation de matériel !

Protocole : Attention à appliquer la haute tension dans le bon sens, sinon au lieu d'accélérer les électrons vers l'écran luminescent ça fait juste une immense barrière de potentiel. Attention à bien alimenter les deux bobines de Helmoltz dans le même sens (c'est à dire qui génèrent deux champs $\overrightarrow{B}$ collinéaires) sinon ça fait pas un champ homogène et on ne voit pas un bel arc de cercle mais plutôt un S.

Exploitation : On suppose que c'est un point et qu'on peut appliquer à un électron le pfd dans le référentiel du laboratoire supposé Galiléen sur le temps de l'expérience (rotation de la Terre, du syst Solaire, de la Galaxie négligeable). Dans le repère de Fresnet :

$$m\frac{v^2}{r} = qvB$$

. Pour le reste voir la notice de l'expérience : en particulier **2, 5.1, 5.3.1, 5.3.1.1, 5.3.1.2**

2 Chute d'une bille, mécanique du point.

La bille, de géométrie sphérique ne présente pas d'axe remarquable à l'instar du point. Cependant elle à un diamètre et une masse qui témoigne de sa constitution généreuse et l'en éloigne de son homologue mathématique ponctuel idéel. Voyons si dans une expérience aussi simple que la chute libre, la bille est assimilable à un point, en supposant que c'est vrai, et en comparant le résultat que celà donne pour la mesure d'une grandeur connue : g.

- Grande potence (1m80 environ) avec graduation dessus et électro-aimant désactivable en son sommet permettant de lâcher la bille sans vitesse initiale (verticalement on s'en fout car on fera la différence entre deux fourches optiques mais horizontalement on a envie qu'elle passe bien en face des fourches optiques)
- L'alimentation qui permet de faire fonctionner l'électro-aimant susnommé
- Un fil à plomb avec un embout de câble banane pour le brancher à l'électro-aimant et prévoir les points de passages et de chute de la bille.
- Une bille, sinon ça sert à rien de monter cette expérience
- (Au moins) 4 fourches optiques et leur alimentation.
- Un oscilloscope 4 voies pour visualiser les signaux.
- Un bocal de terre pour enfermer le coeur de Davy Jones ou réceptionner la bille à la fin de la chute.
- Un grand réglet pour mesurer l'écart entre les fourches optiques

Protocole : Rien d'excitant, on fait tomber la bille et on voit sur l'oscilloscope 4 créneaux (1 par voie car 1 par fourche optique) correspondant au passage de la bille à différentes hauteurs. On va s'intéresser au Δt entre la fourche 1 et n en fonction de la distance entre la fourche 1 et n pour retrouver g.

$$z(t) = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + z_0$$

Exploitation : On trace d la distance entre la fourche 1 et la fourche n en fonction de l'écart temporel entre leur créneaux (mesuré sur le même front of course) et on fait un ajustement par un polynome du second ordre. On trouve $\frac{g}{2}$ puis g avec incertitudes que l'on compare à $9.81 m.s^{-2}$

3 Le pendule pesant équilibré, un solide déguisé en point.

- Un pendule pesant avec capteur de position et contre-poids, et son alim.
- Un fil a plomb pour faire le bg et dire qu'on ne retrouvera g que si le mouvement du pendule se fait dans un plan dont la normale est horizontale (tige rigide ici, quand c'est un fil il se place naturellement à la verticale).
- Un oscilloscope pour voir la position en fonction du temps.
- Une balance pour peser les masses.
- Boîte avec différentes masses à accrocher au pendule.
- Un réglet et un pieds à coulisse.

Protocole : Pour le MP 01 mesure unique sur la période donc cet étalonnage est facultatif. Commencer par étalonner le capteur de position aux angles de travail. Pour cela on fait un débattement entre l'angle min et l'angle max à la main et on ajuste la fenêtre de l'oscilloscope, puis pour différentes valeurs d'angle (maintenu à la main et repéré à l'oeil sur le rapporteur collé) on relève la tension de l'oscilloscope. Tracer la caractéristique de fonctionnement du capteur.

Ensuite, équilibrer le pendule + l'attache avec le contre poids : il faut qu'il reste immobile lorsqu'on le lâche sans vitesse initiale quelque soit l'angle. En pratique ça ne marche pas quelque soit l'angle car l'axe de rotation est toujours légèrement tordu. Attention, lorsque l'on ajoutera une masse, il faut que l'attache soit remise à la même position sinon l'équilibrage ne vaut plus. On vient de placer le barycentre de l'ensemble sur l'axe de rotation, le moment du poids est donc nul pour l'ensemble tige + contre poids + attache. En revanche on n'a pas annulé le moment d'inertie !

Ensuite on fait balancer le pendule (aux petits angles approximation linéaire) avec différentes masses. On relève la période d'oscillation T_0 en fonction de la masse m mise (pesée précisément à la balance, avec incertitudes)

Exploitation : L'équation du mouvement du pendule dans le référentiel du laboratoire (supposé Galiléen au temps d'étude) est

$$J\ddot{\theta} = -mglsin(\theta)$$

qui aux petits angles donne

$$\ddot{\theta} + \frac{mgl}{J}\theta = 0$$

(Sinon voir wikipedia, formule de Borda par exemple). On identifie :

$$\omega_0^2 = \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{mgl}{J}$$

Avec

$$J = J_0 + ml^2 + \frac{mR^2}{4} + \frac{me^2}{12}$$

Où J_0 est le moment d'inertie totale de tout sauf la masse (tige, contre-poids, attache, axe qui tourne dans le capteur même si très négligeable...) Et où les trois autres termes sont propres à la masse (son rayon R, son épaisseur e, sa masse m) qui tourne autour de l'axe du pendule ET sur elle même (montrer au jury que c'est clair dans notre tête, **en prenant une masse à la main et illustrant le mouvement à l'origine de chacun des termes**).
Faire les applications numériques (pieds à coulisse) et négliger les deux derniers termes devant ml^2. On obtient donc

$$T_0^2 = \frac{4\pi^2 J_0}{mgl} + \frac{4\pi^2 l}{g}$$

En traçant T_0^2 en fonction de $\frac{1}{m}$ on trouve une pente qui nous permettra de remonter à J_0 car on connaît g et l.
Conclure que J_0 n'est pas négligeable devant ml^2 et donc que ce pendule pesant est partiellement assimilable à un point : la géométrie de la masse à pû être négligée (la masse est totalement affectée à son barycentre) en revanche il faut tenir compte de J_0 ! Transition vers la mécanique du solide...

4 Le gyroscope, un solide indécrottable.

- Le gyroscope amélioré par Pierre, avec sous l'axe vertical un disque transparent avec 10 traits noirs régulièrement espacés.
- La ficelle pour le faire tourner et la masse avec une fente pour poser sur l'axe du gyroscope.
- Une balance (max 600gr, précision 0.01g) pour peser la petite masse.
- Fourche optique (+ alim + cables + boîtier qui vont avec ?).
- Oscilloscope.
- Réglet de 40cm.
- Tachymètre optique (on fait une droite en faisant varier Ω_{propre}).

Protocole : Placer la fourche optique autour du disque transparent ajouté par Pierre : on pourra mesurer $\Omega_{précession}$ avec précision sans contact ni frottements qui viendraient perturber la mesure.
Équilibrer le gros disque du gyroscope avec son contre-poids.
Enrouler la ficelle autour du disque. Maintenir fermement l'axe horizontal avec la main gauche, tout en tirant fort la ficelle de la main droite. Une fois la ficelle totalement déroulée, lâcher la main gauche : le gyroscope équilibré tourne autour de son axe à peu près horizontal.
Mesurer Ω_{propre} avec le tachymètre optique.
Ajouter la petite masse (préalablement pesée) sur l'axe de rotation : le gyroscope est déséquilibré et précesse.
Relever sur l'oscilloscope $\Omega_{précession}$
Répéter l'opération plusieurs fois.

Exploitation : On cherche à mesurer le moment d'inertie J ($kg.m^2$) du gyroscope, propre à son caractère de solide non assimilable à un point, grâce à la formule

$$\Omega_{précession} = \frac{mgd}{J\Omega_{propre}}$$

où m est la masse ajoutée pour le déséquilibre, g l'accélération de la pesanteur ($9.81 m.s^{-2}$), d la distance sur l'axe "horitontal" entre la position de la masse ajoutée et le point d'accroche avec l'axe vertical (incertitude prépondérante sur m et g, mais peut être pas sur les Ω)
Tracer $\Omega_{précession}$ en fonction de $\frac{1}{\Omega_{propre}}$ et estimer J depuis la pente (avec les incertitudes chacal !).
On peut comparer à l'ordre de grandeur du J du gros disque (voir ce qu'il y a d'autre qui tourne, mais il doit être prépondérant) : $J = \frac{MR^2}{2}$ (on ne peut pas démonter le disque pour le peser mais sa Masse doit être écrite dessus je pense, sinon demander au technicien). Mesurer R avec un réglet.