UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES

Année Académique 2022-2023 | *PHYS-G1102*

Physique appliquée aux sciences de la Vie | *Antonin Rovai et Vincent Wens*

BA1 en Médecine et en Sciences Dentaires

Examen

Nom:

Prénom:

Matricule:

Section:

Q1:	/9	Q2:	/15	Q3:	/16
Q4:	/12	Q5:	/12	Q6:	/11

Instructions: L'usage de documents n'est pas autorisé. L'examen dure 3 heures. Il y a 6 questions. Vous êtes responsables de vérifier que cet examen comporte bien 13 pages. Vous n'êtes pas autorisés à dégraffer les pages de l'examen. Vous êtes autorisés à utiliser une calculatrice (pas de smartphone). Un aide-mémoire vous est fourni à la fin de ce document. Vous pouvez utiliser les résultats du cours théorique sans démonstration, mais pour le reste justifiez bien toutes vos réponses. Les valeurs numériques peuvent être arrondies au 2e chiffre significatif. Sauf indication contraire, tous les résultats numériques doivent être exprimés dans les unités du Système International. Vous pouvez prendre $g = 10m/s^2$ et $\rho_0 = 1000kg/m^3$.
Lorsqu'il vous est demandé de dessiner une force sur un schéma, on demande que la direction et le sens soient le plus précis possible, mais la norme ne doit pas nécessairement être à l'échelle.
Veuillez répondre à chaque question dans l'espace prévu à cet effet après chaque énoncé. S'il vous manque de la place, vous pouvez faire référence au verso d'une des feuilles d'examen pour indiquer où se trouve votre réponse. Veillez à indiquer *très clairement* si vous recourez à ce système. Enfin, le verso des feuilles d'examen peut-être également utilisé comme brouillon pour vos calculs et raisonnements.
Note finale: Le nombre total de points, sur les 6 questions, s'élève à 75 points. Le nombre de points obtenus est rapporté sur 20, et la note de l'examen est alors obtenue en arrondissant à l'entier le plus proche.

Question 1: *(9 points)*

On considère deux corps ponctuels lancés simultanément depuis le sol. Le premier part d'un point O qui est pris comme origine du système d'axes Oxz, sa vitesse initiale est notée $\vec{v}_1$. Le second part d'un point P situé à droite et à une distance $L = 4m$ de O et sa vitesse initiale est notée $\vec{v}_2$. Les deux corps sont lancés vers la gauche, de sorte qu'ils arrivent en même temps au sol, en un point Q situé à une distance $d = 7m$ à gauche de O et après un vol d'une durée de $3.2s$.

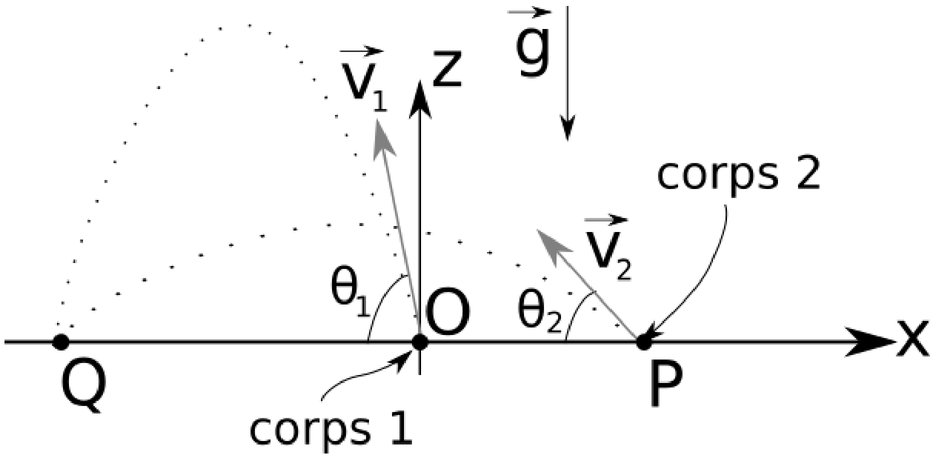

Figure 1: Le corps 1 est lancé depuis le point O, et au même instant le corps 2 est lancé depuis le point P. Tous deux arrivent en même temps au point Q.

On note respectivement θ_1 et θ_2 les angles que font $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ avec l'horizontale, en prenant ces angles entre 0 et $\pi/2$.

1. (1pt) Donner les composantes du vecteur accélération gravitationnelle $\vec{g}$.

2. (2pt) Donner les composantes de $\vec{v}_1$ et $\vec{v}_2$ en fonction de θ_1, θ_2, v_1 et v_2.

3. (2pt) Donner les coordonnées $x_1(t)$, $z_1(t)$ et $x_2(t)$, $z_2(t)$ en fonction du temps. Dans votre réponse, vous pouvez garder les paramètres L et g sans les remplacer par leurs valeurs numériques.

4. (2pt) Calculer numériquement les valeurs de v_1 et θ_1.

5. (2pt) Calculer numériquement les valeurs de v_2 et θ_2.

Question 2: *(15 points)*

On considère un pendule formé d'une ficelle de longueur L et d'une masse ponctuelle m. Le pendule est fixé en un point A, et un clou est fixé au mur en un point B en-dessous de A à une distance d de celui-ci. Nous prenons pour origine des coordonnées O le point le plus bas accessible au pendule; voir figure 2 pour un récapitulatif. La masse est lachée sans vitesse depuis un point P de hauteur H par rapport à O. Lorsque la ficelle entre en contact avec le clou, la trajectoire de m est modifiée comme illustré sur la figure.

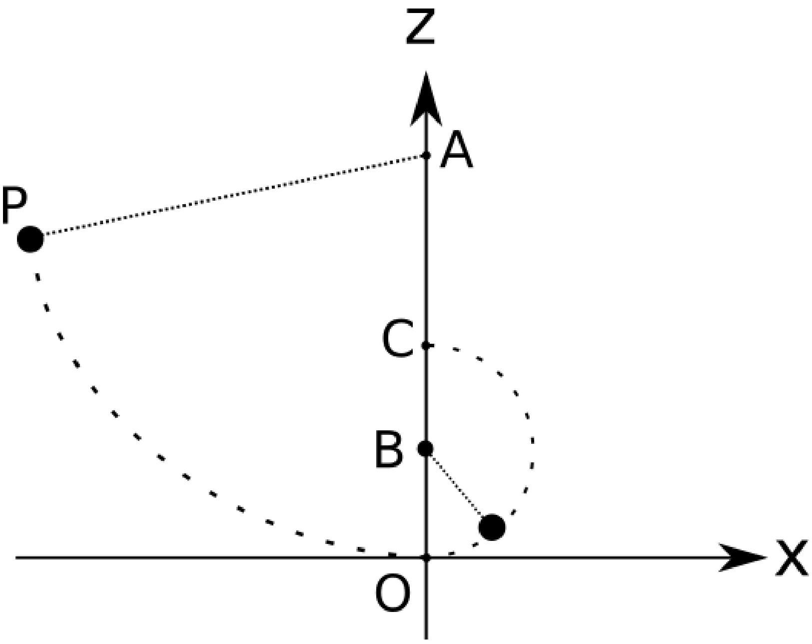

Figure 2: Un pendule est modifié en plaçant un clou sur le trajet de la ficelle, en B.

La question se déroule en trois parties: d'abord, au moment du laché, ensuite, lorsque la masse passe en O et enfin lorsqu'elle atteint le point C.

Première partie: nous sommes au début du mouvement, la masse est en P.

1. (1pt) Représenter sur la figure 2 les forces s'exerçant sur m.

2. (3pt) Que vaut la puissance de la force totale exercée sur la masse?

3. (2pt) Que vaut l'énergie mécanique de m?

Deuxième partie: la masse a atteint son point le plus bas, en O.

4. (3pt) Que vaut sa vitesse $\vec{V}$?

5. (1pt) Que vaut puissance de la force totale exercée sur la masse?

Troisième partie: la masse a atteint le point C, en supposant bien sûr que cela soit possible.

6. (1pt) Que vaut la vitesse $\vec{V}'$ en C?

7. (3pt) Calculer la tension dans la ficelle.

8. (1pt) Quelle est la valeur minimale que doit avoir H pour que cela soit possible?

Question 3: *(16 points)*

On considère un cheval immobile de masse M dont seuls trois de ses sabots sont en contact avec le sol, sa jambe antérieure (c'est-à-dire à l'avant) gauche étant fléchie. Les points de contact avec le sol sont notés P_1, P_2 et P_3, respectivement pour les sabots postérieur (arrière) gauche, postérieur droit, et antérieur droit. La distance entre P_1 et P_2 est notée d et celle entre P_2 et P_3 est notée L. On utilise le système d'axes $Oxyz$ tel que représenté sur la figure 3, où le point O est confondu avec le point P_2. Sur le cheval se trouve une personne de masse m, et on note respectivement C_{G1} et C_{G2} le centre de gravité de cette personne et du cheval.

Les positions des centres de gravité sont déterminés par rapport aux points P_1 et P_2 par les formules:

$$\overrightarrow{P_1C}_{\mathrm{G1}} = \left(\frac{3L}{8}, -\frac{d}{2}, \frac{3h}{2}\right) ,$$
$$\overrightarrow{P_2C}_{\mathrm{G2}} = \left(\frac{3L}{4}, \frac{d}{5}, h\right) ,$$

où d, L et h sont des nombres positifs.

Le but de cette question est de déterminer les normes des forces normales $\vec{N}_1, \vec{N}_2$ et $\vec{N}_3$ exercées par le sol sur les trois sabots posés au sol.

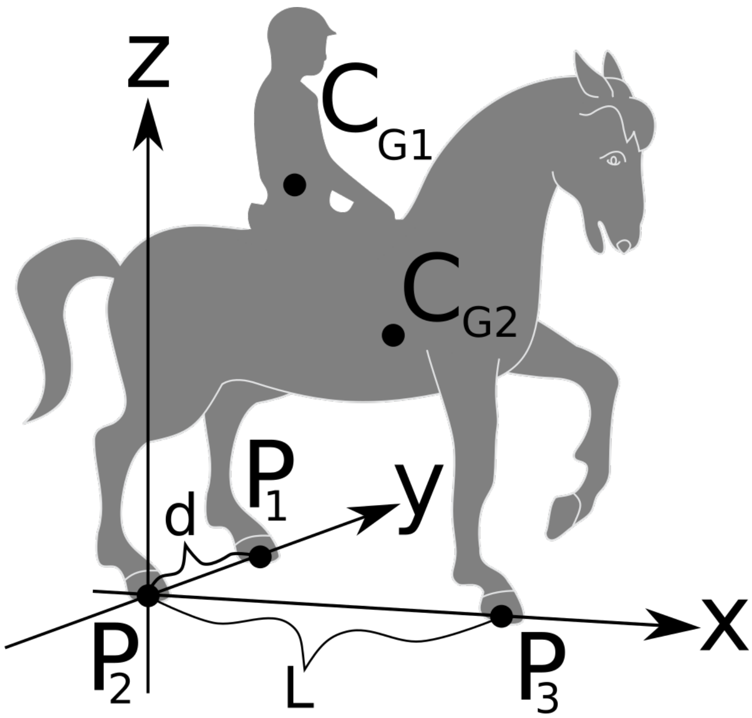

Figure 3: Un cheval est en appui sur trois de ses jambes.

1. (2pt) Que vaut la somme $\vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{N}_3$?

2. (3pt) Calculer le moment de force par rapport à P_2 des forces $\vec{N}_1, \vec{N}_2$ et $\vec{N}_3$.

3. (3pt) Déterminer le moment de force par rapport à P_2 du poids de la personne.
Aide: afin de calculer le produit vectoriel, vous pouvez utiliser la formule suivante valable pour n'importe quels nombres A,B,C et D:

$$(A, B, C) \times (0, 0, D) = (BD, -AD, 0)$$

4. (2pt) Même question mais pour le poids du cheval.

5. (4pt) Déterminer les normes de toutes les forces normales $\vec{N}_1, \vec{N}_2$ et $\vec{N}_3$

6. (2pt) Où se trouve le centre de gravité total du système composé du cheval et de la personne assise dessus par rapport au point P_2?

QUESTION 4: *(12 points)*

On considère un patient, allongé dans son lit, avec dans son bras une perfusion. Par la perfusion, on injecte un liquide incompressible et non-visqueux de masse volumique de masse $\rho = 990 kg/m^3$ grâce à une seringue horizontale. Le piston de la seringue se déplace à une vitesse constante de norme $v = 0.3 cm/s$, et l'écoulement ainsi produit est supposé non-turbulent et satisfaisant à la conservation de la masse. On suppose de plus que la seringue se trouve à une hauteur $h = 85 cm$ du sol, alors que l'aiguille se trouve à une hauteur $H = 100 cm$ du sol.

La seringue est modélisée par un cylindre de rayon $R = 17 mm$ et de longueur $L = 10 cm$. Elle est raccordée au tuyau flexible, qui a un rayon de $r = 0.4 cm$. De plus, juste avant l'aiguille, une colonne d'une hauteur de $40 cm$ est insérée sur le tuyau. Cette colonne est ouverte à l'air libre et sert à mesurer la pression à cet endroit de l'écoulement.[1] La pression de l'air est de $p_{\text{atm}} = 1 atm$.

Voir figure 4 pour un récapitulatif.

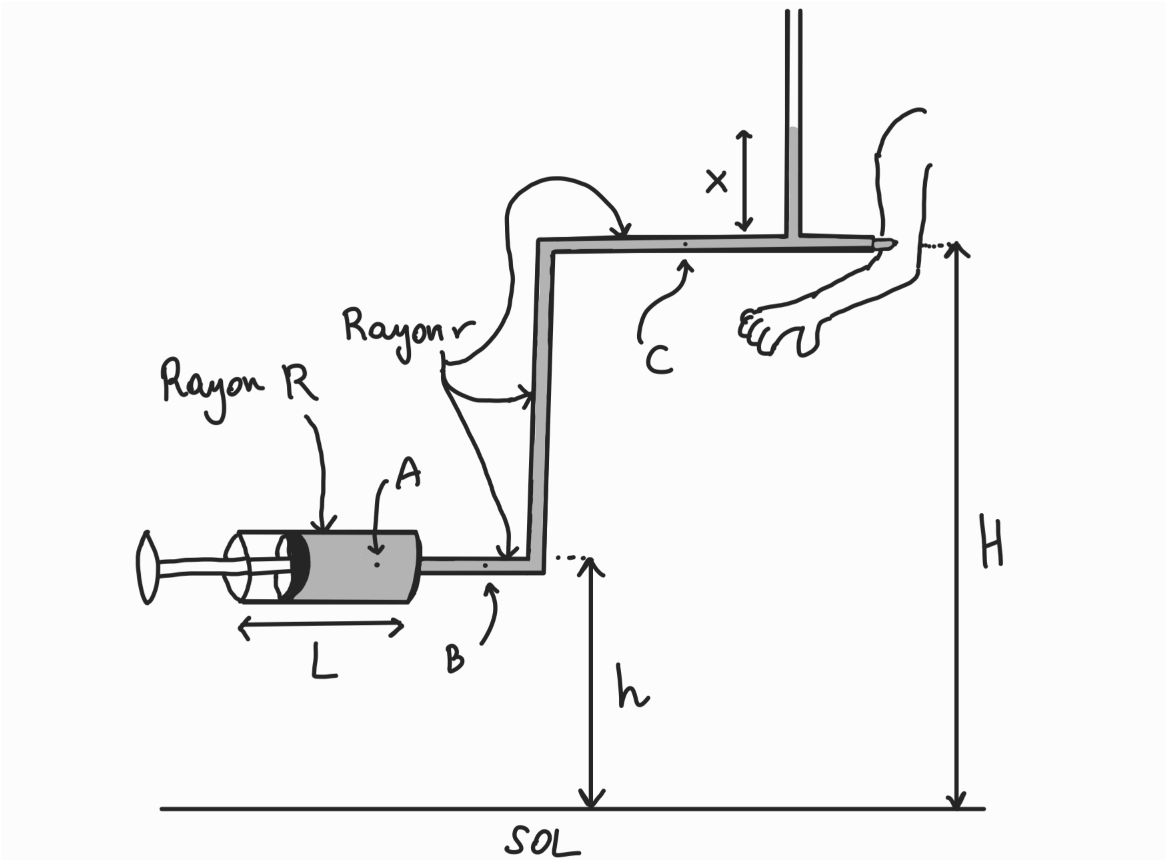

Figure 4: Une seringue pousse du liquide dans le bras d'un patient. Le point A est dans la seringue. Le point B est à la même hauteur que la seringue mais est dans le tuyau flexible. Le point C est également dans le tuyau flexible mais à la même hauteur que l'aiguille. On note p_A la pression du fluide en A et idem pour p_B et p_C.

Si vous le désirez, vous pouvez exprimer les longueurs en cm dans vos réponses. Mais attention, les pressions doivent être exprimées en Pa.

1. (2pt) Que vaut le débit Q dans cet écoulement?

[1] Bien entendu, on ne ferait jamais ceci en pratique pour des raisons d'hygiène!

2. (1pt) En supposant que la seringue est initialement totalement remplie, après combien de temps la seringue sera-t-elle complètement vidée?

3. (2pt) Que vaut la norme de la vitesse v_B du fluide au point B?

4. (1pt) Que vaut la norme de la vitesse v_C du fluide au point C?

5. (2pt) Quelle est la différence de pression $p_A - p_B$?

6. (2pt) Quelle est la différence de pression $p_B - p_C$?

7. (2pt) On mesure que le fluide dans la colonne est à une hauteur $x = 12cm$. Que vaut la pression p_A?

Question 5: *(12 points)*

Un pendule et une machine de Van De Graaf sont placés sur une table et sont séparés d'une distance $d = 9cm$. Le fil du pendule est tendu, de longueur $\ell = 8cm$ et de masse négligeable; son extrémité porte une charge ponctuelle $q = +0.7\mu C$ de masse $m = 8gr$. Le Van De Graaf est une sphère de rayon $R = 10cm$ et porte une charge $Q = +2.5\mu C$ que nous supposerons concentrée en son centre. La partie (a) de la figure 5 montre la situation initiale où les charges q et Q sont à la même hauteur.

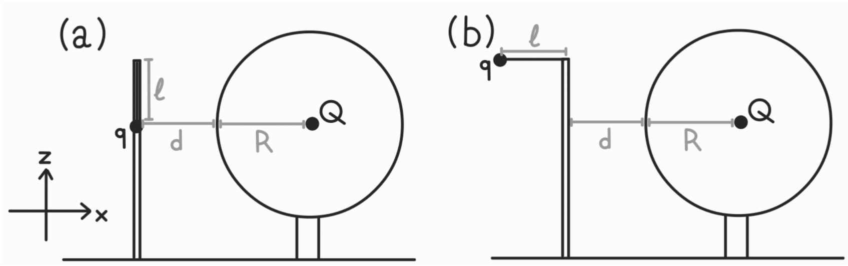

Figure 5: Van De Graaf et pendule en position verticale (a) et horizontale (b).

1. (3pt) Dessinez sur la partie (a) de la figure 5 les forces exercées sur la charge q. *(Aide: Il n'y a pas que la force électrique dans la vie!)*
2. (5pt) Déterminez les composantes de la force totale exercée sur la charge q en partie (a). Utilisez le système d'axes indiqué sur la figure 5.
3. (4pt) Quel travail faut-il exercer sur la charge q pour l'ammener dans la position horizontale montrée en partie (b) de la figure? *(Aide: N'oubliez la gravité dans le bilan d'énergie.)*

QUESTION 6: *(11 points)*

Le pourcentage de graisse corporelle (PGC) d'un professeur de physique peut être estimé suivant le principe de la figure 6. Le professeur est placé sur une balance spéciale qui connecte les pieds à une source de tension $\mathcal{E} = 1V$ et à un ampère-mètre A mesurant l'intensité I du courant électrique qui le traverse (partie a). Nous modélisons la partie du corps traversée par le courant comme deux résistances cylindriques de longueur $L = 2.2m$ en parallèles, la somme de leurs volumes valant $v = 2.8dm^3$ (partie b). La résistance des tissus graisseux est caractérisée par une conductivité $\sigma_g = 0.02/\Omega m$ et une surface S_g indéterminée; celle des muscles, par une conductivité $\sigma_m = 0.6/\Omega m$ et une surface S_m indéterminée.

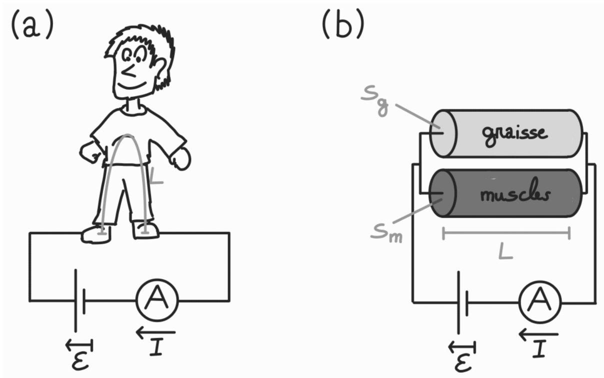

Figure 6: Principe de mesure du PGC. (a) Situation. (b) Modèle électrique.

1. (2pt) Le PGC correspond à la fraction f de volume graisseux par rapport au volume total v. Démontrez que $f = S_g/(S_g + S_m)$.

2. (3pt) Déterminez la résistance totale R du professeur en fonction de σ_g, σ_m, S_g, S_m, et L.

3. (6pt) Un patient est en situation normale de poids si son PGC est en dessous de 25%, en surpoids s'il est entre 25% et 32%, et obèse s'il excède 32%. Qu'en est-il du professeur, sachant que l'ampère-mètre donne $I = 260\mu A$?

$$\rho_0 = 1000 kg/m^3 \qquad \|\vec{A}\| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \qquad 1\text{atm} = 101325\text{Pa}$$

$$g = 10 m/s^2 \qquad \frac{\mathrm{d}\sin(ax)}{\mathrm{d}x} = a\cos(ax) \qquad \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) = \cos\alpha$$

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z + p \qquad \sin(\pi - \alpha) = \sin\alpha \qquad \vec{a}_\mathrm{c} = -\omega^2 \vec{r}$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = AB\cos\theta \qquad \|\vec{A}\times\vec{B}\| = AB\sin\theta \qquad v = \omega r$$

$$\cos\alpha = \frac{\text{adjacent}}{H} \qquad F_\mathrm{s}^\mathrm{max} = \mu N \qquad Q = Av$$

$$E_\mathrm{P} = \frac{1}{2}kr^2 \qquad E_\mathrm{P} = -m\vec{g}\cdot\vec{r} \qquad W = \vec{f}\cdot(\vec{r}_2 - \vec{r}_1)$$

$$A = \pi R^2 \qquad \Delta E = W$$

$$\vec{A}\times\vec{B} = (A_yB_z - A_zB_y, A_zB_x - A_xB_z, A_xB_y - A_yB_x)$$

$$e = 1.6\,10^{-19}\,C \qquad \epsilon_0 = 8.9\,10^{-12}\,\frac{A^2s^4}{kg\,m^3} \qquad \mu_0 = 4\pi\,10^{-7}\,\frac{Tm}{A}$$

$$1nX = 10^{-9}X \text{ (nano)} \qquad 1pX = 10^{-12}X \text{ (pico)} \qquad 1fX = 10^{-15}X \text{ (femto)}$$

$$\vec{F}_{Q/q} = \frac{qQ}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r} \qquad \vec{F}_{\vec{E}/q} = q\vec{E} \qquad \vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}\hat{r}$$

$$\sigma = Q/A \qquad \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\hat{n} \qquad \vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}\hat{n}$$

$$\tfrac{1}{2}mv^2 + qV \qquad \Delta V = EL \qquad V = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

$$\Delta V = RI \qquad R = \frac{L}{S}\frac{1}{\sigma} \qquad I = env_eS$$

$$R = R_1 + R_2 \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad P = \Delta V I$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Id\vec{\ell}\times\hat{r}}{r^2} \qquad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \qquad B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$$B = \mu_0\frac{N}{L}I \qquad d\vec{F}_{\vec{B}/I} = Id\vec{\ell}\times\vec{B} \qquad F_{I_1/I_2} = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$$

$$\vec{F}_{\vec{B}/q} = q\vec{v}\times\vec{B} \qquad \vec{v}\perp\vec{v}\times\vec{B} \qquad R_L = \frac{mv}{|q|B}$$