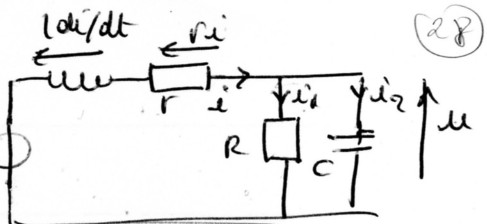
Exo 1-a p13 \ ref | 3012241 (28)



1°/ $E = ri + L\frac{di}{dt} + u$ où $i = i_1 + i_2 = \frac{u}{R} + C\frac{du}{dt}$.

$E = \frac{r}{R}u + rC\frac{du}{dt} + \frac{L}{R}\frac{du}{dt} + LC\frac{d^2u}{dt^2} + u \Rightarrow \boxed{\ddot u + 2\lambda \dot u + \omega^2 u = \frac{E}{LC}}$

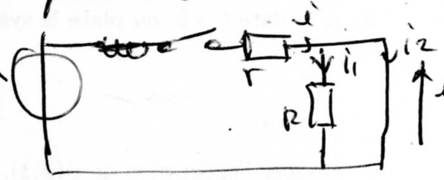
2°/ Équation caractéristique : $X^2 + 2\lambda X + \omega^2 = 0$ où $\boxed{\omega^2 = \frac{1}{LC}\left(1+\frac{r}{R}\right)}$

$\Rightarrow \Delta' = \lambda^2 - \omega^2 \simeq -\omega^2 \Rightarrow X_1 = -\lambda + i\omega$ et $X_2 = -\lambda - i\omega$. $\boxed{\lambda = \frac{1}{2LC}\left(rC + \frac{L}{R}\right)}$

$\Rightarrow \boxed{u = e^{-\lambda t} * (A\cos\omega t + B\sin\omega t) + \frac{E}{LC\omega^2}}$ solution particulière

3°/ Conditions limites :

• 1ère méthode : circuit équivalent à $t=0$:



Continuité de $u_C = u \Rightarrow \boxed{u(0) = 0} \Rightarrow$ fil électrique

$i = i_1 + i_2$ ~~ou~~ $i = 0$ et $i_1 = \frac{u}{R} = \frac{0}{R} \Rightarrow i_1 = 0$.

$\Rightarrow 0 = 0 + i_2 \Rightarrow i_2 = C\frac{du}{dt}\Big|_0 = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{du}{dt}\Big|_0 = 0}$

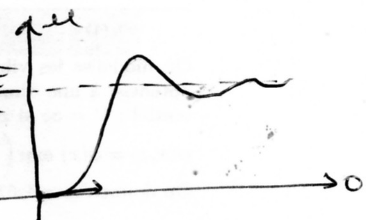
• 2e méthode : Fonction de transfert : $\ddot u + 2\lambda \dot u + \omega_0^2 u = \frac{E}{LC} \Rightarrow \underline{u}(-\omega^2 + 2\lambda j\omega + \omega_0^2) = \frac{E}{LC}$

$u(0) = \lim_{\omega\to\infty} \underline{u} = \lim_{\omega\to\infty}\left[\frac{E/LC}{-\omega^2 + 2\lambda j\omega + \omega_0^2}\right] = 0 \Rightarrow \boxed{u(0) = 0}$

$\dot u(0) = \lim_{\omega\to\infty} j\omega\underline{u} = \lim_{\omega\to\infty}\left[\frac{j\omega \times E/LC}{-\omega^2+2\lambda j\omega+\omega_0^2}\right] = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{du}{dt}\Big|_0 = 0}$

solution

• $u(0) = 0 \Rightarrow \boxed{A = -\frac{E}{LC\omega^2}}$



• $\frac{du}{dt} = e^{-\lambda t}\left[-\lambda(A\cos\omega t + B\sin\omega t) + \omega(-A\sin\omega t + B\cos\omega t)\right]$.

$\Rightarrow \frac{du}{dt}\Big|_0 = -\lambda A + B\omega = 0 \Rightarrow B = +\frac{\lambda}{\omega}A$

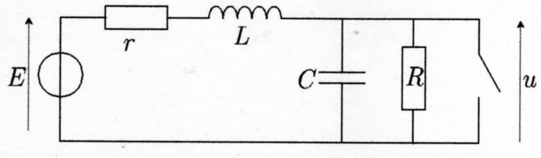
$\Rightarrow \boxed{u = -\frac{E}{LC\omega^2}e^{-\lambda t}\left(\cos\omega t + \frac{\lambda}{\omega}\sin\omega t\right) + \frac{E}{LC\omega^2}}$

3012241

III- Concours Commun Polytechnique (2021)

1– Électrocinétique et mécanique (2021)

a– Exercice 1 :Régime transitoire



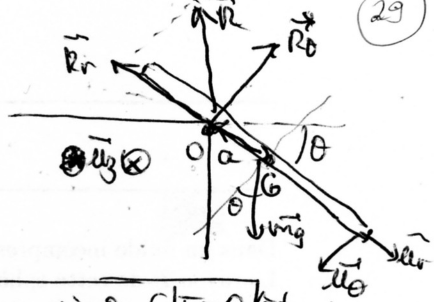
Ce circuit comporte un générateur de tension continue E, une résistance R, un condensateur de capacité C et une bobine modélisée par une inductance L en série avec une résistance r.
Après avoir été fermé pendant longtemps, l'interrupteur s'ouvre à $t = 0$.

1. Montrer que la tension vérifie l'équation différentielle :

$$\ddot u + 2\lambda\,\dot u + \omega^2\,u = \frac{E}{LC}$$

   On exprimera les constantes λ et ω.
2. On suppose que l'on a : $\omega \gg \lambda$.
   Exprimer u à l'aide de constantes A et B ainsi que des données de l'énoncé.
3. Déterminer les valeurs de u et i à $t = 0$. En déduire l'expression de $u(t)$.
4. Tracer l'allure de $u(t)$.

Exo 1-b P14 \ ref 3112242 (29)



1°) $E_p = mgz_G = -mga\sin\theta \Rightarrow \boxed{\frac{dE_p}{d\theta}\Big|_0 = -mga \neq 0 \Rightarrow \text{pas équilibre}}$

2°) Non glissement si $\boxed{|R_r| < f|R_\theta|}$

3°) $\frac{d\vec L}{dt} = \vec{\mathcal{M}}_O(m\vec g) \Rightarrow \boxed{J\ddot\theta = +mga\cos\theta} \Rightarrow \ddot\theta = \frac{mga\cos\theta}{J}\ (\alpha)$

4°) $J\dot\theta\ddot\theta - mga\dot\theta\cos\theta = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}J\dot\theta^2 - mga\sin\theta\right) = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{1}{2}J\dot\theta^2 - mga\sin\theta = Ct = 0}$ (à t=0)

$\Rightarrow \boxed{\dot\theta^2 = \frac{2mga\sin\theta}{J}}\ (\beta)$

5°) $\sum \vec F_{ext} = \begin{pmatrix} mg\sin\theta \\ mg\cos\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -R_\theta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -R_r \\ 0 \end{pmatrix} = m\frac{d\vec v_G}{dt} = \begin{pmatrix} -ma\dot\theta^2 \\ ma\ddot\theta \end{pmatrix}$

d'après $(\alpha),(\beta) \Rightarrow \begin{cases} mg\sin\theta - R_r = -\frac{2m^2a^2g\sin\theta}{J} \\ mg\cos\theta - R_\theta = \frac{m^2a^2g\cos\theta}{J} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \boxed{R_r = mg\left(1 + \frac{2ma^2}{J}\right)\sin\theta} \\ \boxed{R_\theta = mg\left(1 - \frac{ma^2}{J}\right)\cos\theta} \end{cases}$

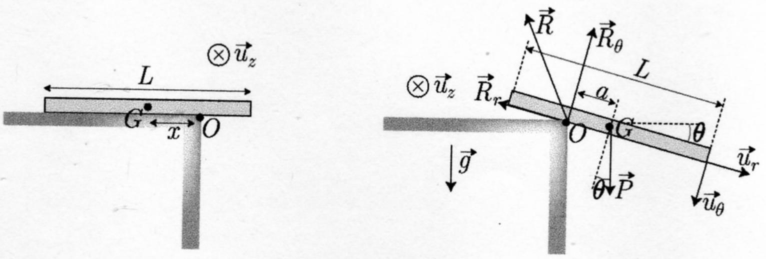
6°) Glissement si $|R_r| \geq f|R_\theta| \Rightarrow mg(J+2ma^2)\sin\theta \geq mg(J-ma^2)\cos\theta \Rightarrow \tan\theta \geq \frac{J-ma^2}{J+2ma^2}$

$\Rightarrow \boxed{\tan\theta_c = \frac{J-ma^2}{J+2ma^2}}$

3112242

III- Concours Commun Polytechnique (2021)

b– Exercice 2 : Chute d'un téléphone depuis une table



Mon téléphone était posé sur ma table de chevet. Je dormais quand le réveil a sonné. Fatigué, je déplace mon bras pour l'éteindre et le pousse sans faire exprès. Oh non ! il va tomber !
Le téléphone entame une rotation autour de l'axe (Oz), sans glisser. Il est de longueur L, de masse m et de moment d'inertie J par rapport à l'axe de rotation.
Son centre de gravité est à la distance a de l'axe.
La table exerce une réaction $\vec R = -R_r\,\vec u_r = -R_\theta\,\vec u_\theta$ sur le téléphone.

1. Expliquer pourquoi la position initiale n'est pas une position d'équilibre.
2. Rappeler la loi de frottement de Coulomb sur le non-glissement.
3. Déterminer une équation différentielle vérifiée par θ
4. Déterminer une intégrale première du mouvement.
5. Exprimer les composantes R_r et R_θ.
6. Exprimer l'angle θ_c à partir duquel le téléphone commence à glisser.

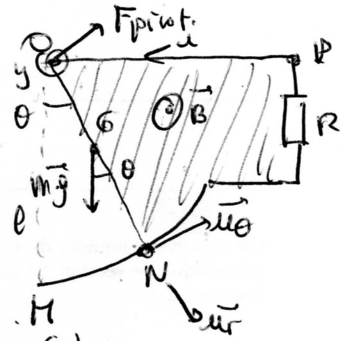
Exo 2-a P14 (ref) 3112243. (30)

1°) a- $\theta \uparrow \Rightarrow \Phi \downarrow \Rightarrow i$ dans le sens (+) trigonométrique $\Rightarrow \Phi \uparrow$.

b- $e = -\frac{d\Phi_B}{dt} = Ri$ avec $\Phi_B = \Phi_{ONPO} = \Phi_{OMPO} - \Phi_{OMN}$
$= cte - B \times S_{OMN}$

où $S_{OMN} = \frac{\theta}{2\pi} \times \pi \ell^2 = \frac{\theta \ell^2}{2} \Rightarrow \Phi_B = cte - \frac{B\ell^2}{2}\theta$

$\Rightarrow e = Ri = \frac{B\ell^2}{2}\dot\theta \Rightarrow \boxed{i = \frac{B\ell^2}{2R}\dot\theta}$ cohérent avec (a).



2°) a- $\boxed{\vec F_{ext} = \vec F_{pivot} + m\vec g + \vec F_{Laplace}}$ où $\vec F_{Laplace} = i\vec\ell \wedge \vec B = -i\ell B \vec u_\theta$

b- $\vec{\mathcal{M}}_{Laplace} = \vec{OG} \wedge \vec F_{Laplace} = -\frac{\ell}{2} \times i\ell B \vec e_y = -\frac{\ell^2 B}{2} \times \frac{B\ell^2}{2R}\dot\theta \vec e_y \Rightarrow \boxed{\vec{\mathcal{M}}_{Laplace} = -\frac{B^2\ell^4}{4R}\dot\theta \vec e_y}$

c- $J\dot\omega \vec u_y = -mg\ell\sin\theta \vec u_y - \frac{B^2\ell^4}{4R}\dot\theta \vec u_y \Rightarrow \boxed{J\dot\omega = -mg\ell\sin\theta - \frac{B^2\ell^4}{4R}\dot\theta}$

3°) a- $J\ddot\theta + \frac{B^2\ell^4}{4R}\dot\theta + mg\ell\theta = 0 \Rightarrow \boxed{\ddot\theta + 2\lambda\dot\theta + \omega_0^2\theta = 0}$ où $\boxed{\omega_0^2 = \frac{mg\ell}{J}}$ et $\boxed{\lambda = \frac{B^2\ell^4}{4RJ}}$

b- Équation caractéristique : $X^2 + 2\lambda X + \omega_0^2 = 0 \Rightarrow \Delta' = \lambda^2 - \omega_0^2 \Rightarrow X = -\lambda \pm (\Delta')^{1/2}$

• $\boxed{\text{si } \lambda > \omega_0}$, $\alpha = \sqrt{\Delta'} \Rightarrow \boxed{\theta = e^{-\lambda t} \times [A e^{\alpha t} + B e^{-\alpha t}]}$

• $\boxed{\text{si } \lambda = \omega_0}$, $\boxed{\theta = (A + Bt)\, e^{-\lambda t}}$

• $\boxed{\text{si } \lambda < \omega_0}$, $\Omega = \sqrt{\omega_0^2 - \lambda^2} \Rightarrow \boxed{\theta = e^{-\lambda t} \times (A\cos\Omega t + B\sin\Omega t)}$

3112243

III- Concours Commun Polytechnique (2021)

2– Induction électromagnétique, mécanique quantique (2021)

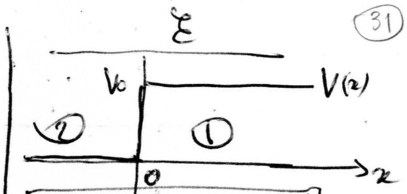
a– Exercice 1 : rail de Laplace

On considère une barre en métal de moment d'inertie J et de lngueur ℓ, attachée à une de ses extrémités (axe Oy) à une liaison pivot parfaite (comme un pendule) et à l'autre extrémité il est attaché à un rail en demi-cercle sur lequel il coulisse sans frottements.
L'extrémité du rail et le point O sont reliés entre eux par un fil électrique de résistance R.
L'ensemble est plongé dans un champ magnétique et un champ de gravitation uniformes :

$$\vec B = B\,\vec e_y \qquad \vec g = -g\,\vec e_z$$

1. a- Sens du courant par la loi de Lenz ?
   b- Utilisation de la loi de Faraday pour déterminer i.
   c- Vérifier la cohérence du résultat au regard de la question a.
2. a- Faire un bilan des forces.
   b- Donner le moment de la force de Laplace s'appliquant sur la tige.
   c- Utiliser le théorème du moment cinétique.
3. a- Donner l'équation différentielle vérifiée par l'angle θ de la tige, supposé petit.
   b- Je ne me souviens plus trop ; il me semble qu'il y avait une question sur le type de solution en fonction des valeurs de i, B, ℓ (longueur de la tige), R.

ENO 26 – p15 \ wep h 31122447



1°) a) cf cours (b) : $B_2 = 0$ car pas d'onde réfléchie dans le milieu (1).

c- $-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\varphi_1}{dx^2} - V_0\varphi_1 = -\mathcal{E}\varphi_1 \Rightarrow \frac{d^2\varphi_1}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(\mathcal{E}-V_0)\varphi_1 = 0 \Rightarrow \boxed{k_1 = \sqrt{\frac{2m}{\hbar^2}(\mathcal{E}-V_0)}}$

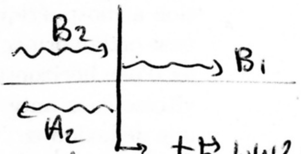
$\boxed{\varphi_1(x) = B_1 e^{-i(\omega t - k_1 x)}}$

d- Région (2) : $\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\varphi_2}{dx^2} = -\mathcal{E}\varphi_2 \Rightarrow \frac{d^2\varphi_2}{dx^2} + k_2^2\varphi_2 = 0$ avec $\boxed{k_2 = \sqrt{\frac{2m\mathcal{E}}{\hbar^2}}}$ et $\boxed{\varphi_2(x) = A_2 e^{-ik_2x} + B_2 e^{ik_2 x}}$

Conditions de continuité : en $x=0$ $\varphi_1 = \varphi_2$: $B_1 = A_2 + B_2$; $\frac{d\varphi_1}{dx} = \frac{d\varphi_2}{dx}$: $B_1 k_1 = -k_2 A_2 + B_2 k_2$ $\Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{B_2 = \frac{k_1+k_2}{2k_2}B_1} \Rightarrow \boxed{B_1 = \frac{2k_2}{k_1+k_2}B_2} \Rightarrow \boxed{A_2 = \frac{k_2-k_1}{k_2+k_1}B_2}$

Signification :



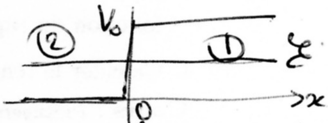
ondes incidente, réfléchie, transmise :

$\begin{cases} \psi_i = B_2 e^{i(k_2x-\omega t)} \\ \psi_r = A_2 e^{i(-k_2x-\omega t)} \\ \psi_t = B_1 e^{i(k_1x-\omega t)} \end{cases} \Rightarrow \boxed{r \triangleq \frac{A_2}{B_2} = \frac{|\psi_r|}{|\psi_i|} = \frac{k_2-k_1}{k_2+k_1}}$

$R \triangleq \frac{J_r}{J_i} = \left|\frac{\psi_r}{\psi_i}\right|^2 \Rightarrow \boxed{R = \left(\frac{k_2-k_1}{k_2+k_1}\right)^2 < 1}$

Rappel : $\vec{J} = \frac{\hbar \vec{k}}{2m}|\psi|^2$ $\Rightarrow \boxed{J = \frac{\hbar k}{2m}|\varphi|^2}$

2°) • Région (2) : $-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\varphi_2}{dx^2} = \mathcal{E}\varphi_2 \Rightarrow \boxed{\varphi_2(x) = A_2 e^{-ik_2x} + B_2 e^{ik_2x}}$ $\boxed{k_2 = \sqrt{\frac{2m\mathcal{E}}{\hbar^2}}}$



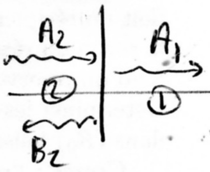
• Région (1) : $\frac{d^2\varphi_1}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(\mathcal{E}-V_0)\varphi_1 = 0 \Rightarrow \boxed{\frac{d^2\varphi_1}{dx^2} - q^2\varphi_1 = 0}$ $\boxed{q^2 = \frac{2m}{\hbar^2}(V_0-\mathcal{E})}$

$\Rightarrow \boxed{\varphi_1(x) = A_1 e^{-qx} + B_1 e^{qx}}$ sinon $\lim_{x\to\infty}\varphi_1(x) \to \infty$!

Continuité :

$\begin{cases} \varphi_2(0) = \varphi_1(0) \\ \frac{d\varphi_2}{dx}\Big|_0 = \frac{d\varphi_1}{dx}\Big|_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} A_2 + B_2 = A_1 \\ -ik_2A_2 + ik_2B_2 = -qA_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} ik_2A_2 + ik_2B_2 = ik_2A_1 \\ ik_2A_2 - ik_2B_2 = -qA_1 \end{cases} \Rightarrow +$

$\Rightarrow \boxed{A_1 = \frac{2ik}{ik-q}A_2} \Rightarrow \boxed{B_2 = \frac{ik+q}{ik-q}A_2}$



$\begin{cases} \psi_i = A_2 e^{ikx}e^{-i\omega t} \\ \psi_r = B_2 e^{-ikx}e^{-i\omega t} \end{cases} \Rightarrow r \triangleq \frac{\psi_r}{\psi_i} = \frac{B_2}{A_2} \Rightarrow \boxed{r = \frac{ik+q}{ik-q}}$ et $\boxed{R = \frac{J_r}{J_i} = \left|\frac{\psi_r}{\psi_i}\right|^2 = |r|^2 = 1.}$

31122244

III- Concours Commun Polytechnique (2021)

b– Exercice 2 : mécanique quantique

Une particule quantique, de masse m, se déplace selon (Ox) dans un milieu dont le potentiel s'écrit :

$$\begin{cases} V(x) = 0 \text{ si } x < 0 \\ V(x) = V_0 \text{ si } x \geqslant 0 \end{cases}$$

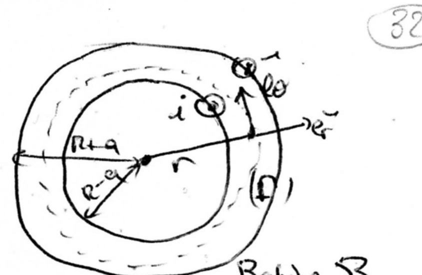
On rappelle l'équation de Schrödinger :

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi + V\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

On cherche un état stationnaire de la forme : $\psi(x,t) = \varphi(x)\,e^{-i\omega t}$.

1. D'abord on suppose que la particule est de masse m et d'énergie $\mathcal{E} > V_0$, la particule étant préparée pour arriver depuis le domaine $x < 0$.
   - a- Expliquer la forme prise pour ψ et donner l'expression de $\varphi(x)$. Montrer que la densité linéaire de probabilité est indépendante du temps.
   - b- On donne, pour $x > 0$:
     $$\psi(x,t) = B_1\,e^{-i(\omega t - kx)} + B_2\,e^{-i(\omega t + kx)}$$
     L'un des coefficients B_1 ou B_2 est nul. Lequel ? Expliquer pourquoi.
   - c- Donner une relation déterminant le coefficient k (pour $z > 0$).
   - d- Définir et calculer le coefficient de réflexion r en amplitude et R en flux. Commenter.
2. On suppose maintenant que $0 < \mathcal{E} < V_0$. Mêmes questions.

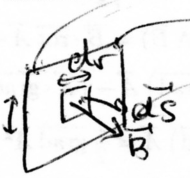
1°) théorème d'Ampère : $\oint_{(\Gamma)} \vec{B}_B \cdot \vec{dOM} = B(r)\times 2\pi r = \mu_0 N i$.
champ produit par B
$\Rightarrow \boxed{\vec{B}_B = \frac{\mu_0 N i}{2\pi r}\vec{e_\theta}}$



Bobine B

2°) Φ_1 = à travers une spire

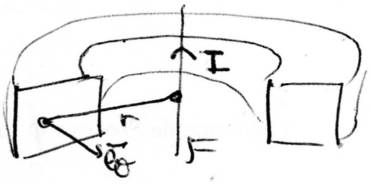
$$\Phi_1 = \int_{z=-a}^{+a}\int_{r=R-a}^{R+a} \frac{\mu_0 N i}{2\pi r}\, dr\, dz$$



$$= \frac{\mu_0 N i}{2\pi}\times 2a \times \ln\left(\frac{R+a}{R-a}\right) \Rightarrow \Phi_{B/B} = N\Phi_1 = \frac{\mu_0 N^2 i a}{\pi}\ln\left(\frac{R+a}{R-a}\right) = Li \Rightarrow \boxed{L = \frac{\mu_0 N^2 a}{\pi}\ln\left(\frac{R+a}{R-a}\right)}$$

Rappel : $\Phi = \Phi_{B/B} + \Phi_{F/B}$
$= Li + MI$.

3°) théorème d'Ampère : $\oint \vec{B}\cdot\vec{dOM} = B_F(r)\times 2\pi r = \mu_0 I$
Champ produit par le fil F
$\Rightarrow \boxed{\vec{B}_F = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\vec{e_\theta}}$



Φ_1 à travers une spire :

$$\Phi_1 = \int_{z=-a}^{+a}\int_{R-a}^{R+a}\frac{\mu_0 I}{2\pi r}\, dr\, dz = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\times 2a\times\ln\left(\frac{R+a}{R-a}\right) \Rightarrow \Phi_{F/B} = \frac{\mu_0 N I a}{\pi}\ln\left(\frac{R+a}{R-a}\right) = MI.$$

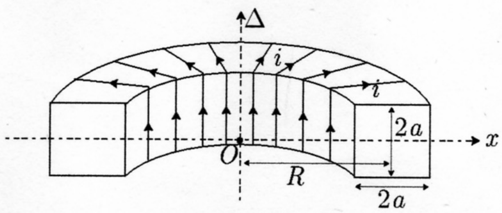
$$\Rightarrow \boxed{M = \frac{\mu_0 N a}{\pi}\ln\left(\frac{R+a}{R-a}\right)}$$

0101251

III- Concours Commun Polytechnique (2021)

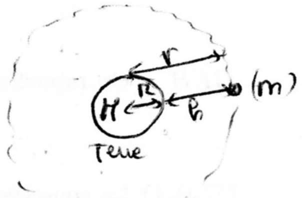
3– Induction magnétique, mécanique céleste (2021)

a– Exercice 1 : Bobine torique



1. Donner l'expression du champ magnétique (le tore possède N spires).
2. Déterminer l'inductance L de la bobine.
3. À présent, on met un fil parcouru par un courant I sur l'axe Δ de la figure (vers le haut). Déterminer l'induction mutuelle M entre le fil et la bobine.

Exo 36 - p 15 \ ref {01012523}



1°) PFD : $m\times\left(-\frac{v^2}{r}\vec{e_r}\right) = -\frac{GMm}{r^2}\vec{e_r} \Rightarrow mv^2 = \frac{GMm}{r}$

$\begin{cases} \mathcal{E}_p = -\frac{GMm}{r} \\ \mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r} \end{cases} \Rightarrow \boxed{\mathcal{E}_c = -\frac{1}{2}\mathcal{E}_p} \Rightarrow \boxed{\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p = -\frac{GMm}{2r}}$

$\cancel{T_0 = 24\times 3600 = 86400\,s}$ T_g

2°/a- $\frac{d\mathcal{E}_m}{dt} = \mathcal{P}_{frottements} \Rightarrow \frac{GMm}{2r^2}\frac{dr}{dt} = -m\alpha\vec{v}\cdot\vec{v} = -m\alpha v^2 = -\alpha\frac{GMm}{r}$

$\Rightarrow \frac{1}{2r}\frac{dr}{dt} = -\alpha \Rightarrow \frac{dr}{dt} + 2\alpha r = 0 \Rightarrow \boxed{r = r_0 e^{-2\alpha t}}$ où $\boxed{r_0 = R+h}$

Après la 1ère révolution : $\Delta r = 1\,m = r_0 - r(T_0) = r_0\times\left[1 - e^{-2\alpha T_0}\right] \simeq r_0\times 2\alpha T_0$ si $2\alpha T_0 \ll 1$

car $2\alpha T_0 = \frac{\Delta r}{r_0} = \frac{1}{R+h} = \frac{1}{6500\cdot 10^3} \ll 1$

$\Rightarrow \boxed{\alpha = \frac{\Delta r}{r_0\times 2T_0}}$

avec la 3e loi de Kepler : $\frac{r_0^3}{T_0^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \Rightarrow \boxed{T_0 = \sqrt{\frac{4\pi^2 r_0^3}{GM}}}$

b- $r(t) = r_0 e^{-2\alpha t} = r_0 e^{-\frac{\Delta r\, t}{r_0 T_0}} \Rightarrow \boxed{h(t) = r(t) - R = (R+h)\, e^{-\frac{\Delta r}{r_0}\times\frac{t}{T_0}} - R}$ où $t = x$ années $= x\times 365\times 24\times 3600\,s$.

III- Concours Commun Polytechnique (2021)

b– Exercice 2 : Mouvement d'un satellite

Un satellite de masse m et d'altitude $h = 100$ km de la Terre ($R = 6\,400$ km) décrit une trajectoire circulaire.

1. Donner un lien entre l'énergie cinétique et l'énergie potentielle.
   Dire que $\mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p = \mathcal{E}_m$ et que, dans le cas d'un système conservatif $d\mathcal{E}_p + d\mathcal{E}_c = 0$ n'était manifestement pas la réponse attendue.
2. On suppose qu'à chaque révolution, le satellite subit une diminution d'altitude de 1 mètre. On suppose également qu'il est soumis à une force de frottement $\vec{f} = -m\alpha\,\vec{v}$.
   - a- Déterminer le coefficient α.
   - b- Donner l'altitude h au bout de x années.