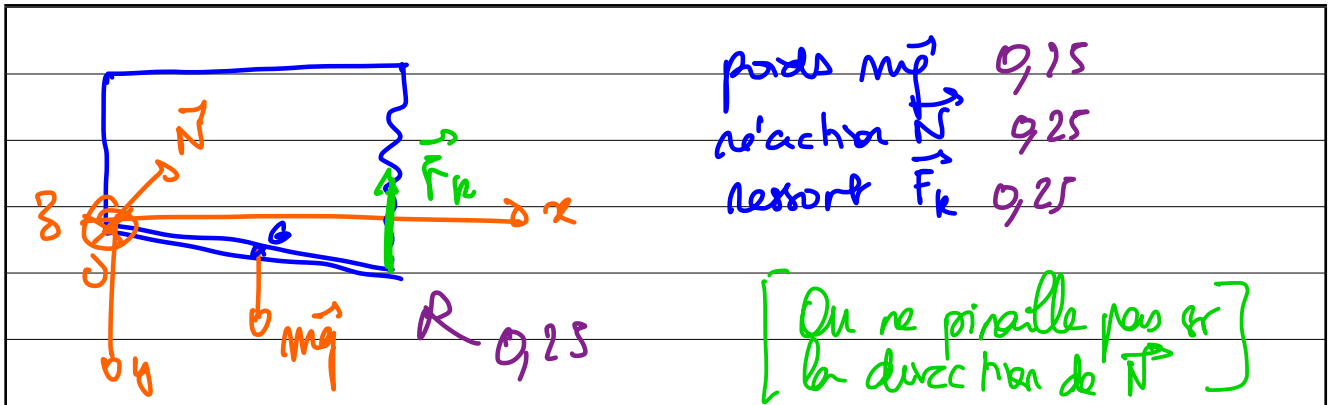


Microscope à force atomique 12 pts

1a Forces

1



1b

$$d_0 = \frac{mg}{2k}$$

1,5

à l'équilibre $\sum \vec{O} \vec{F}_i = \vec{0} = \vec{O} \vec{O} \vec{N} + \vec{O} \vec{G} \vec{mg} + \vec{O} \vec{A} \vec{F}_k$

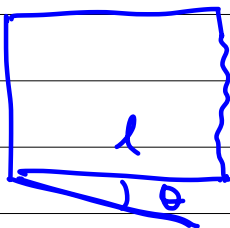
$$\vec{0} = \frac{l}{2} \vec{e}_x + mg \vec{e}_y + l \vec{e}_x + (-k d_0 \vec{e}_y) = \vec{0}$$

$$\frac{mg l}{2} - k d_0 = 0 \quad d_0 = \frac{mg}{2k}$$

On peut aussi essayer Newton $\Rightarrow$ Opt (pas possible)

1c

1



θ par rapport à $d_0 \Rightarrow$ alors on a supplémentaire de $l \theta$

$$\Rightarrow \text{all} = l \theta + d_0 = l \theta + \frac{mg}{2k}$$

1d

$$E_m = \frac{1}{6} m l^2 \dot{\theta}^2 - \frac{m g l}{2} \theta + \frac{1}{2} k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right)^2$$

$$E_m = E_{c, \text{rot}}^{0,2} + E_p^g^{0,2} + E_p^k^{0,2}$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{1}{3} m l^2 \dot{\theta}^2 + \left(-m g \frac{l}{2} \theta \right) + \frac{1}{2} k \left(l \theta \right)^2$$

$$= \frac{1}{6} m l^2 \dot{\theta}^2 - \frac{m g l}{2} \theta + \frac{1}{2} k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right)^2 \quad (0,3)$$

Si un des termes est faux mais que existe solution
 → OK par "résultat"

1e

Equation différentielle $\ddot{\theta} + \frac{3k}{m} \theta = 0$ 0,5

Option 1: $\frac{dE_m}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{1}{6} m l^2 \cdot 2 \dot{\theta} \ddot{\theta} - \frac{m g l}{2} \dot{\theta} + \frac{1}{2} k \cdot 2 l \dot{\theta} \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right) = 0$ 0,5

$$\frac{1}{3} m l^2 \ddot{\theta} - \frac{m g l}{2} \dot{\theta} + \frac{k l m g}{2k} + k l \theta = 0$$

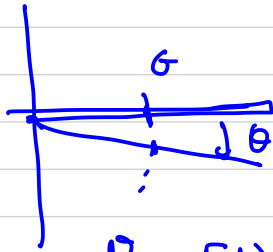
Option 2 $\sum \vec{\sigma}_0 = \frac{d\vec{L}_0}{dt} = \vec{O} \vec{O} \wedge \vec{N} + \vec{O} \vec{G} \wedge m \vec{g} + \vec{O} \vec{A} \wedge \vec{F}_k$ 0,2

$$\vec{I} \ddot{\theta} \vec{e}_3 = \frac{1}{3} m l^2 \ddot{\theta} \vec{e}_3 = \vec{O} + \left(\frac{l}{2} \cos \theta \vec{e}_x + \frac{l}{2} \sin \theta \vec{e}_y \right) \wedge (+m g \vec{e}_y) + \left(l \cos \theta \vec{e}_x + l \sin \theta \vec{e}_y \right) \wedge k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right) (-\vec{e}_y)$$

$$= +\frac{l}{2} \times m g \vec{e}_3 - l \times k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right) \vec{e}_3 = \frac{1}{3} m l^2 \ddot{\theta} \vec{e}_3$$

$$\frac{1}{3} m l^2 \ddot{\theta} + k l^2 \theta = 0 \Rightarrow \ddot{\theta} + \frac{3k}{m} \theta = 0 \quad \ddot{\theta}$$

1d: on peut aussi combiner rotation & translation



$$E = E_{C,G}^{\text{trans}} + E_{\text{rot/G}} + E_{P,g} + E_{P,k}$$

$$= \underbrace{\frac{1}{2} m v_G^2}_{q2} + \underbrace{\frac{1}{2} I_G \omega^2}_{q2} + \underbrace{mgh}_{q2} + \underbrace{\frac{1}{2} k x^2}_{q2}$$

$$v_G = r\omega = \frac{l}{2} \dot{\theta} \quad I_G = \frac{1}{12} m l^2$$

$$E = \frac{1}{2} m \frac{l^2}{4} \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} \frac{1}{12} m l^2 \dot{\theta}^2 - m g \frac{l}{2} \theta + \frac{1}{2} k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{1}{4} + \frac{1}{12} \right] m l^2 \dot{\theta}^2 - m g \frac{l}{2} \theta + \frac{1}{2} k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right)^2$$

$\underbrace{\quad}_{\frac{1}{3}}$

$$\Rightarrow E = \frac{1}{6} m l^2 \dot{\theta}^2 - m g \frac{l}{2} \theta + \frac{1}{2} k \left(\frac{m g}{2k} + l \theta \right)^2$$

On retrouve la même chose

1f

$$\theta(t) = \dot{\theta} \cos \omega_0 t \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{3k}{m}} \quad 0,2$$

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m}{3k}} \quad 0,2$$

Solution générale $\theta(t) = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t$ $\dot{\theta}(0) = 0 \Rightarrow B = 0$
 $\dot{\theta}(0) = \dot{\theta}_0 \Rightarrow A = \dot{\theta}_0$ $\omega_0 = \sqrt{\frac{3k}{m}} \quad 0,2$ $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad 0,2$

Ici : correction générale, on veut juste que ce soit +/- cohérent avec l'équation

1g

Equation différentielle: $\ddot{\theta} + 2\gamma \dot{\theta} + \omega_0^2 \theta = \frac{3\hat{F}_e}{m\ell} \cos(\omega_e t)$ $2\gamma = \frac{3b}{m\ell} \quad 0,3$ $\omega_0^2 = \frac{3k}{m\ell} \quad 0,3$

$$\sum \vec{\mathcal{L}}_O = \frac{d\vec{L}_O}{dt} = I \ddot{\theta} \vec{e}_3 = \frac{1}{3} m \ell^2 \ddot{\theta} \vec{e}_3$$

$$= \frac{1}{2} m g \vec{e}_3 - k \ell \left(\frac{m g}{2k} + \theta \ell \right) \vec{e}_3 - \dot{\theta} \vec{e}_3 + \ell \vec{e}_x \wedge F_e \cos(\omega_e t) \vec{e}_y \quad 0,3$$

$$\frac{1}{3} m \ell^2 \ddot{\theta} = \cancel{\frac{1}{2} m g} - \cancel{\frac{k \ell m g}{2k}} - k \ell^2 \theta - \cancel{k \ell} + \ell F_e \cos(\omega_e t) \quad 1,5$$

$$\frac{m \ell}{3} \ddot{\theta} + b \dot{\theta} + k \ell \theta = F_e \cos(\omega_e t) \quad 0,3$$

$$\ddot{\theta} + \underbrace{\frac{3b}{m\ell}}_{2\gamma} \dot{\theta} + \underbrace{\frac{3k}{m}}_{\omega_0^2} \theta = \frac{3\hat{F}_e}{m\ell} \cos(\omega_e t)$$

1h

$$\theta(t) = A(\omega_e) \cos(\omega_e t + \varphi(\omega_e))$$

$$A(\omega_e) =$$

1

vu la forme $\theta(t) = A(\omega_e) \cos(\omega_e t + \varphi)$ 0,5

$$A(\omega_e) = \frac{3F_e / m\ell}{\sqrt{(\omega_e^2 - \omega_0^2)^2 + 4\gamma^2 \omega_e^2}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{8k}{m}} \quad 2\gamma = \frac{8b}{m\omega_0}$$

0,3 expression grndale
+ 0,2 ajuste

1i

$$\omega_e = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2} = \omega_{res}$$

$A(\omega_e)$ max par $\omega_e = \omega_{res} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\gamma^2}$
à la résonance

1

1j

la force exercée par l'échantillon sur le pont agit comme un ressort supplémentaire, cela va décaler la résonance en modifiant la constante effective $\Rightarrow$ change la réponse et donc l'amplitude en fonction de ω_e

1

Mission DART

13,5

[12+1,5]

2a

$$M_1 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{r_0^3}{T_0^2} \quad 0,2$$



mut arc uniforme $\vec{a} = \vec{a}_n = r_0 \omega_0^2 \vec{n}$ $0,2$

$$\vec{F}_G = + \frac{GM_1 M_2}{r_0^2} \vec{n} = M_2 r_0 \omega_0^2 \vec{n} \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad 0,2$$

$$\frac{GM_1}{r_0^2} = r_0 \frac{4\pi^2}{T_0^2} \Rightarrow M_1 = \frac{4\pi^2}{G} \frac{r_0^3}{T_0^2} \quad 0,2$$

Si "formule" $T^2/R^3 = \frac{4\pi^2}{GM} \Rightarrow OK \dots$

2b

$$M_2 = \pi_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^3$$

$$\rho = \frac{M_1}{V_1} = \frac{M_2}{V_2} = \frac{\pi_1}{\frac{4}{3}\pi R_1^3} = \frac{\pi_2}{\frac{4}{3}\pi R_2^3} \quad 0,3$$

$$M_2 = \pi_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^3 \quad 0,4$$

2c

$$M_1 = 6 \cdot 10^{24} \text{ ou } 5 \cdot 10^{24} \text{ kg} \quad 0,2$$

$$M_2 = 5 \cdot 10^9 \text{ [ou } 4 \cdot 10^9] \text{ kg} \quad 0,4$$

$$M_1 = \frac{4\pi^2 (1,2 \cdot 10^3)^3}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (1,2 \cdot 3,6 \cdot 10^4)^2} = \frac{6^2 \times 12^3 \times 10^9 \times 10^8 \times 10^8}{1,2^2 \times 3 \times 12 \times 3,6} \quad 0,2$$

$$M_1 = \frac{20}{3,6} \cdot 10^{-11} = \frac{5}{0,9} \cdot 10^{-11} \text{ kg} \approx 5 \cdot 10^{-11} \text{ ou } 6 \cdot 10^{-11}$$

$$M_2 = 6 \cdot 10^{-11} \left(\frac{80}{400} \right)^3 = 6 \cdot 10^{-11} \frac{1}{5^3} = \frac{6 \times 10^{-11} \times 10^9}{5 \times 5 \times 5} \approx \frac{24}{5} \cdot 10^{-9} \text{ kg} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$$

2d

$$v_0 = \frac{2\pi r_0}{T_0}$$

A.N: $v_0 = 0,17 \text{ m.s}^{-1}$ 0,2

$$v_0 = \frac{2\pi r_0}{T_0} = \frac{2\pi \times 1200}{12 \times 3600} = \frac{2\pi}{3,6 \times 10} = \frac{2 \times 3,14}{3,6 \times 10} \sim 0,17$$

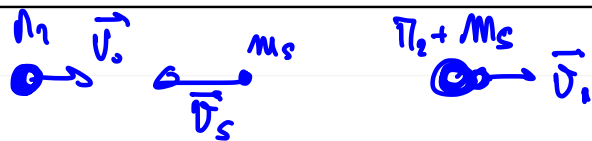
0,5 0,3

Alternative: $\frac{GM_1 M_2}{r_0^2} = \frac{M_1 v_0^2}{r_0} \Rightarrow v_0 = \sqrt{\frac{GM_1}{r_0}}$ 0,5 aussi

2e

$$v_1 = \frac{M_1 v_0 - m_s v_s}{M_1 + m_s}$$

Choc inélastique

0,3 conservation $\vec{p}$ 

$$M_1 \vec{v}_0 + m_s \vec{v}_s = (M_1 + m_s) \vec{v}_1$$

0,2 écriture vectorielle

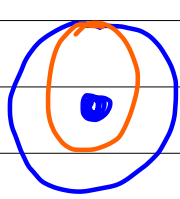
$$M_1 v_0 \vec{e}_x - m_s v_s \vec{e}_x = (M_1 + m_s) v_1 \vec{e}_x$$

0,2 projection

$$v_1 = \frac{M_1 v_0 - m_s v_s}{M_1 + m_s}$$

0,3 calculer

2f



avant

après

avant: 0,2

ellipse: 0,3

ellipse ok: +0,5

2g

$$\Delta v_1 = - \frac{m_s v_s}{m_2}$$

$$\text{A.N.: } \Delta v_1 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Delta \theta_1 = \theta_1 - \theta_0 = \frac{m_2 v_0 - m_s v_s}{m_2 + m_s} + \frac{-m_2 v_0 - m_s v_0}{m_2 + m_s} \quad 0,2$$

$$= - \frac{m_s}{m_2 + m_s} \cdot (v_s + v_0) = - \frac{m_s v_s}{m_2} \quad 0,2$$

negl 0,2 negl 0,2

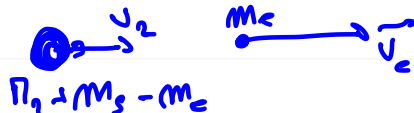
$$\Delta \theta_1 = - \frac{5 \text{ g/s}}{5 \cdot 10^3} \cdot 6 \cdot 10^3 = 6 \cdot 10^{-3} = \frac{6 \cdot 10^{-4}}{0,3} \text{ m.s}^{-1} \quad 0,2$$

Rondlet
avant ok
si pas de appor

2h

$$v_2 = \frac{m_1 v_0 - m_s v_s - m_e v_e}{m_2 + m_s - m_e}$$

la situation vient à avoir la 1^{re} situa^o et ensuite

conservat^o p: 0,3

écriture: 0,3

projection: 0,2

ad'ultat: 0,2

$$m_1 \vec{v}_0 + m_s \vec{v}_s = (m_2 + m_s - m_e) \vec{v}_2 + m_e \vec{v}_e$$

$$\vec{v}_2 = \frac{m_1 \vec{v}_0 + m_s \vec{v}_s - m_e \vec{v}_e}{m_2 + m_s - m_e} \Rightarrow v_2 = \frac{m_1 v_0 - m_s v_s - m_e v_e}{m_2 + m_s - m_e}$$

2i

$$v_2 < v_1 \quad 0,2$$

la situation revient à avoir d'abord le choc total élastique et ensuite éjection de matière de la direction du mouvement. la vitesse d'éjection doit être $> v_1$, sinon la matière reste sur la satellite $\Rightarrow v_{ej} > v_1 \Rightarrow v_2 < v_1$ 0,2

2j

$$r_2 = 2r_0 \left(\frac{T_2}{T_0} \right)^{2/3} - r_0 \quad 0,2$$

$$\text{Kepler : } T^2 \propto a^3 \quad 0,2$$

$$\frac{T_0^2}{r_0^3} = \frac{T_2^2}{\left(\frac{r_0 + r_2}{2} \right)^3} = \frac{8T_2^2}{(r_0 + r_2)^3} \quad 0,2$$

$$(r_0 + r_2)^3 = r_0^3 \frac{8T_2^2}{T_0^2} \quad 0,2$$

$$r_0 + r_2 = 2r_0 \left(\frac{T_2}{T_0} \right)^{2/3} \quad 0,2$$

$$r_2 = 2r_0 \left(\frac{T_2}{T_0} \right)^{2/3} - r_0$$

2k

$$v_2 = \sqrt{\frac{G\pi_1 r_2}{r_0(r_2 + r_0)}}$$



Conservation moment cinétique 0,2

$$v_2' r_2 = v_2 r_0 \quad 0,2$$

Conservation Energie sur l'orbite 0,2

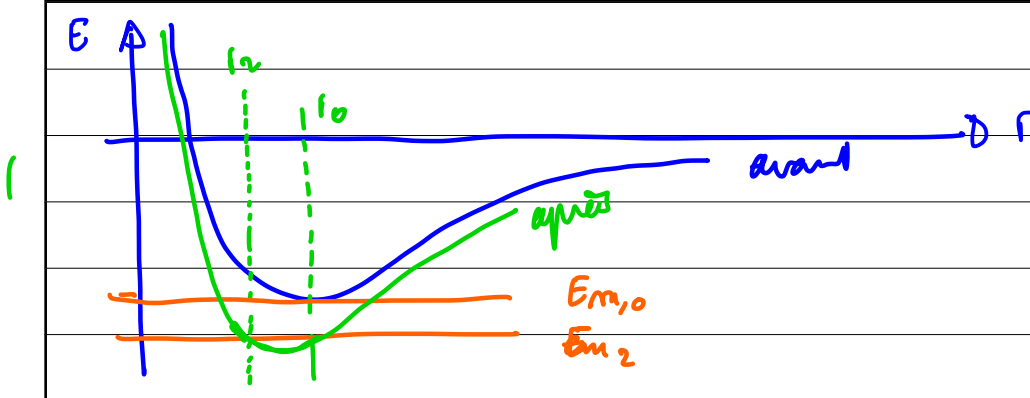
$$\frac{1}{2} m_2 v_2^2 - \frac{G M_1 m_2}{r_0} = \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 - \frac{G M_1 m_2}{r_2} \quad 0,2$$

$$v_2^2 - v_2'^2 = (v_2 - v_2')(v_2 + v_2') = G M_1 \left(\frac{1}{r_0} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{G M_1}{v_2 r_0} \left(\frac{v_2 r_0}{r_0} - \frac{v_2' r_2}{r_2} \right) \quad 0,2$$

$$(v_2 - v_2')(v_2 + v_2') = \frac{G M_1}{v_2 r_0} (v_2 - v_2') \Rightarrow v_2 (v_2 + v_2') = v_2' \left(v_2 + \frac{v_2 r_0}{r_2} \right) = \frac{G M_1}{r_0} \quad 0,2$$

$$v_2^2 \left(\frac{r_2 + r_0}{r_2} \right) = \frac{G M_1}{r_0} \quad v_2^2 = \frac{r_2 G M_1}{r_0 (r_2 + r_0)} \quad 0,2$$

2l



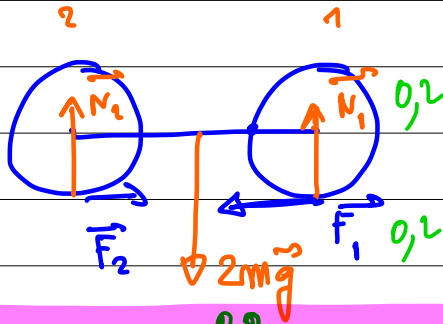
Vélo simplifié

10 + 2

3a

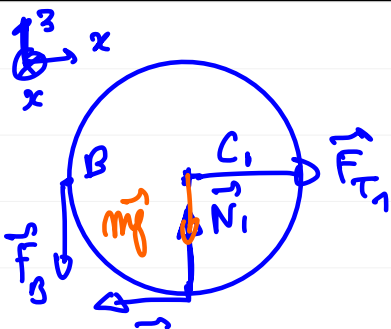
Forces externesForces: poids $(2m)\vec{g}$
(ou $2 \times m\vec{g}$ en C_1 & C_2)0,2
0,2

1,5

Réaction $\vec{N}_1$ & $\vec{N}_2$ 0,2frottements $\vec{F}_1$ & $\vec{F}_2$ 0,2Attention: mettre F_R fait PERDRE 0,2 pt

3b

$$\vec{F}_1 = F_1 \vec{e}_x = (ma_0 - F_B) \vec{e}_x$$

Forces: $\vec{F}_{T_1}$ (hye / roue) en C_1 0,2
 $\vec{F}_1$, $\vec{N}_1$, $\vec{F}_B$, $m\vec{g}$

$$\sum \vec{\mathcal{O}}_{C_1} = \frac{d\vec{L}_{C_1}}{dt} \quad 0,2$$

ici $\vec{F}_1 = F_1 \vec{e}_x$
 F_1 algébrique

$$\sum \vec{\mathcal{O}}_{C_1} = \vec{C_1 C_1} \wedge m\vec{g} + \vec{C_1 A} \wedge \vec{F}_1 + \vec{C_1 A} \wedge \vec{N}_1 + \vec{C_1 B} \wedge \vec{F}_B + \vec{C_1 A} \wedge \vec{F}_1 \quad 0,2$$

$$= (-R \vec{e}_x) \wedge (-F_B \vec{e}_3) + (-R \vec{e}_3) \wedge (F_1 \vec{e}_x) = -R F_B \vec{e}_y - R F_1 \vec{e}_y \quad 0,2$$

$$= \frac{d}{dt} (I_{C_1} \vec{\omega}) = \frac{d}{dt} (mR^2 \omega \vec{e}_y) = mR^2 \dot{\omega} \vec{e}_y = mR^2 \left(-\frac{a_0}{R} \right) \vec{e}_y \quad 0,2$$

$$\Rightarrow -m R a_0 = -R F_B - R F_1 \quad F_1 = ma_0 - F_B \quad 0,3$$

Beaucoup ont essayé avec Newton $\Rightarrow +0,2$
Si évenement des forces $\Rightarrow +0,2$ Si C_1 identifié $\Rightarrow +0,2$ A si
réponse ok
"par hasard"
pas de pt

Approche avec le signe des forces de frottement ~~de~~
 $\vec{F}_1 = |\vec{F}_1|$



$$\vec{F}_1 = -F_1 \vec{e}_x \quad \text{avec } F_1 > 0$$

$$\Rightarrow \vec{F}_1 = -F_1 \vec{e}_x = \underline{(ma_0 - F_B) \vec{e}_x}$$

$$3c] \quad \vec{F}_2 = F_2 \vec{e}_x \quad \text{avec } F_2 > 0 \quad \vec{F}_2 = ma_0 \vec{e}_x$$

$$3d] : \quad \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = +m\vec{a}_0 \quad -F_1 \vec{e}_x + F_2 \vec{e}_x = -ma_0 \vec{e}_x$$

$$-F_1 + F_2 = -ma_0$$

$$3e] \quad -F_1 = ma_0 - F_B \quad \Rightarrow \quad F_2 = ma_0$$

$$F_2 = ma_0$$

$$-F_1 = -2ma_0$$

$$\Rightarrow F_1 = 3ma_0$$

$$-F_1 + F_2 = -ma_0$$

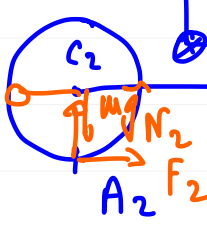
$$-F_B = -F_1 - ma_0 = -4ma_0$$

$$F_1 = 3ma_0 \quad F_2 = ma_0 \quad F_B = 4ma_0$$

3c

$$\vec{F}_2 = m a_0 \vec{e}_x$$

0,3



$$\begin{aligned} \sum \vec{L}_{C_2} &= \frac{d\vec{L}_{C_2}}{dt} = -m R a_0 \vec{e}_y \quad 0,2 \\ &= \vec{C_2 A_2} \times \vec{F}_2 + \vec{C_2 A_2} \times m \vec{v} + \vec{C_2 A_2} \times \vec{N} + \vec{C_2 A_2} \times \vec{F} \\ (-R \vec{e}_y) \wedge (F_2 \vec{e}_x) &= -R F_2 \vec{e}_y = -m R a_0 \vec{e}_y \quad 0,2 \end{aligned}$$

Newton: + 0,2pt

$$F_2 = m a_0$$

attention certains éléments sont à double ici et en b)
 si présents ici & absents en b → mette des points en b)
 moment $I = m r^2$ / $\omega = a_0 / R$ (0,4)

3d

relation $F_1 + F_2 = -2m a_0$

0,5

$$\sum \vec{F} = m \vec{a} \quad \text{sur } \vec{e}_n \quad F_1 + F_2 = -(2m) a_0$$

0,2 0,1 0,2

3e

$$\vec{F}_1 = -3ma_0 \vec{e}_x \quad 0,2$$

$$\vec{F}_2 = ma_0 \vec{e}_x \quad 0,2$$

$$\vec{F}_B = -4ma_0 \vec{e}_x \quad 0,2$$

écriture des vecteurs: 0,2

$$\left. \begin{array}{l} F_1 = ma_0 - F_0 \\ F_2 = ma_0 \\ F_1 + F_2 = -2ma_0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} F_1 = -2ma_0 - F_2 = -3ma_0 \\ -F_B = F_1 - ma_0 = -4ma_0 \end{array}$$

3f

$$D = \frac{1}{2} v_0^2 / a_0$$

mut uniformément accéléré $\vec{a} = -a_0 \vec{e}_x$ idéf 0,2

$$\vec{x} = -a_0 t \vec{e}_x + v_0 \vec{e}_x = (-a_0 t + v_0) \vec{e}_x \quad x = -\frac{1}{2} a_0 t^2 + v_0 t \quad 0,2$$

$$\text{à } t_f \quad v = 0 \Rightarrow -a_0 t_f + v_0 = 0 \quad t_f = \frac{v_0}{a_0} \Rightarrow D = -\frac{1}{2} a_0 \frac{v_0^2}{a_0^2} + v_0 \frac{v_0}{a_0}$$

$$D = \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{a_0}$$

idéf 0,1

3g

$$E_m = 2mv^2$$

$$E_m = E_{c, \text{trans}} + E_{c, \text{rot}} = \frac{1}{2} (2m) v^2 + 2 \times \frac{1}{2} m R^2 \omega^2$$

$$= mv^2 + m R^2 \left(\frac{v}{R} \right)^2 = 2mv^2$$

3h

$$W_B = - F_B \frac{v_0^2}{2a_0}$$

$$F_B = 4ma_0^2$$

$$W_B = - F_B \cdot D = - F_B \cdot \frac{v_0^2}{2a_0}$$

$$(2) \quad W_B = E_m^f - E_m^i = 0 - 2mv_0^2 = -F_B \frac{v_0^2}{2a_0}$$

$$F_B = \frac{4mv_0^2 a_0}{v_0^2} = 4ma_0^2$$

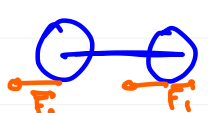
même chose !

3i

$$a_1 = g \mu_c$$

1

Newton 0,2



$$\sum \vec{F} = 2m \vec{a}_1 = -2ma_1 \vec{e}_x \quad \text{sur } \vec{e}_x$$

$$\vec{F}_1 |_{\vec{e}_1} + \vec{F}_2 |_{\vec{e}_2} + 2m\vec{g} |_{\vec{e}_3} + \vec{N}_1 |_{\vec{e}_1} + \vec{N}_2 |_{\vec{e}_2} = \begin{pmatrix} -2ma_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

0,2 vecteur

$$N_1 + N_2 = 2mg \quad 0,2$$

$$F_1 + F_2 = 2ma_1 = \mu_c N_1 + \mu_c N_2 = \mu_c (N_1 + N_2) \quad 0,2$$

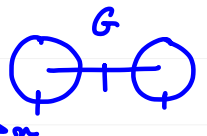
$$\mu_c (2mg) = 2ma_1 \quad 0,2$$

3j

Condition : $\frac{l}{2R}$

1,5

tant que la roue arrière ne décolle pas



$$\sum \vec{\mathcal{L}}_G = \vec{0} \quad 0,2$$

$$\vec{G} \vec{G} \wedge \vec{g} + \vec{G} \vec{A}_1 \wedge (\vec{N}_1 + \vec{F}_1) + \vec{G} \vec{A}_2 \wedge (\vec{N}_2 + \vec{F}_2) = \vec{0} \quad 0,2$$

$$\left(\frac{l}{2} \vec{e}_x - R \vec{e}_3 \right) \wedge (N_1 \vec{e}_3 - F_1 \vec{e}_x) + \left(-\frac{l}{2} \vec{e}_x - R \vec{e}_3 \right) \wedge (N_2 \vec{e}_3 - F_2 \vec{e}_x) = \vec{0} \quad 0,2$$

$$N_1 \frac{l}{2} (-\vec{e}_y) + R F_1 \vec{e}_y + \frac{l}{2} N_2 \vec{e}_y + R F_2 \vec{e}_y = \sum \vec{\mathcal{L}}_G = \vec{0} \quad 0,2$$

$$= \left[\frac{l}{2} (-N_1 + N_2) + R (F_1 + F_2) \right] \vec{e}_y = \left[\frac{l}{2} (-N_1 + N_2) + R 2ma_1 \right] \vec{e}_y = \vec{0} \quad 0,2$$

On est dans le cas limite : $N_2 = 0$ (roue décolle) 0,3

mais on a toujours $N_2 + N_1 = 2mg \Rightarrow N_1 = 2mg$ 0,2

$$\Rightarrow \frac{l}{2} (-2mg) + R \cdot 2ma_1 = 0 \Rightarrow a_1 = \frac{lg}{2R} \quad 0,2$$