Niveau : $1^{ères}$ CDE

Discipline : PHYSIQUE-CHIMIE

CÔTE D'IVOIRE – ÉCOLE NUMÉRIQUE

THEME 1 : MECANIQUE

TITRE DE LA LEÇON : TRAVAIL ET PUISSANCE D'UNE FORCE DANS LE CAS D'UN MOUVEMENT DE ROTATION AUTOUR D'UN AXE FIXE

I. SITUATION D'APPRENTISSAGE

Un élève en classe de $1^{ère}$ C au Lycée Leboutou habite le village de TOUPAH. Il emprunte le car pour se rendre au cours. En route, l'un des pneus du car crève. Pour dévisser les écrous de la roue, le chauffeur utilise une clé en croix mais il n'y parvient pas. Il utilise donc une barre de fer pour rallonger la clé ; cette fois-ci, il réussit à enlever les écrous de la roue. L'élève est émerveillé par ce résultat. Une fois au lycée, il en parle à ses camarades. Ensemble, ils décident sous la direction de leur professeur, de s'informer sur les caractéristiques du mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe, de définir un couple de forces, de déterminer le travail et la puissance d'une force agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe.

II. CONTENU DE LA LECON

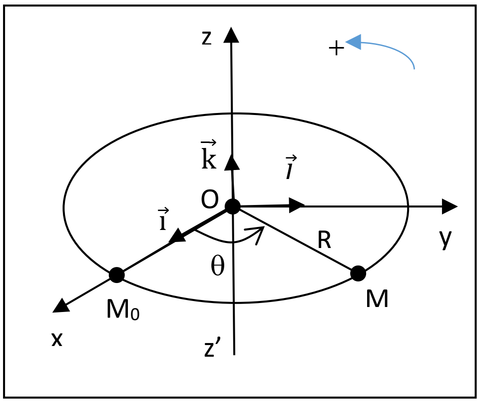
1.MOUVEMENT DE ROTATION D'UN SOLIDE

1.1 Définition

Un solide est animé d'un mouvement de rotation si **tous ses points décrivent des cercles** centrés sur **le même axe** constitué d'un ensemble de points immobiles ; l'axe est perpendiculaire au plan des cercles.

1.2. Repérage d'un point du solide

1.2.1 Abscisses angulaire et curviligne



Si O est le centre et R le rayon de la trajectoire circulaire décrite par le point mobile M, alors la position du point M peut être caractérisée à tout instant par **l'abscisse curviligne s =** $\widehat{M_0M}$ ou par **l'abscisse angulaire**

$\theta = (\overrightarrow{OM_0}, \overrightarrow{OM})$.

- **L'abscisse curviligne** et **l'abscisse angulaire** sont telles que : **s = R.θ**

R et s en mètre (m) et θ en radian (rad)

1.2.2 Vitesse angulaire et vitesse linéaire

- **La vitesse angulaire ω** d'un point d'un solide en rotation autour d'un axe fixe est donnée par

L'expression : $\boxed{\omega = \frac{\delta\theta}{\delta t}}$ ω en rad.s^{-1}

Remarque : Lors d'un mouvement de rotation uniforme tous les points du solide ont la même vitesse angulaire

$\boxed{\omega = \Delta\theta/\Delta t = (\theta_2 - \theta_1)/t_2\text{-}t_1}$ ***t(s); θ(rad); ω(rad/s)***

On exprime aussi la vitesse angulaire en tours par minutes (trs/min)

- **La vitesse linéaire v** du point mobile est telle que : **v = R. ω**

(v en m. s^{-1}, R : rayon de la trajectoire en m et ω en rad. s^{-1})

Activité d'application

Tu disposes d'une montre à aiguille. La distance entre l'axe et l'extrémité de l'aiguille des secondes est d = 1,2 cm. Cette aiguille effectue un mouvement de rotation uniforme en un tour.

1-Donne la valeur de l'abscisse angulaire θ.

2-Détermine :

2-1 la valeur de la vitesse angulaire.

2-2 la valeur de la vitesse linéaire de l'extrémité de cette aiguille.

Solution

1- L'abscisse angulaire est : θ = 2π rad.
2- Détermination :

2-1. de la valeur de la vitesse angulaire : $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{60}$ = 0,105 rad/s.

2-2. de la valeur de la vitesse linéaire : v = d × ω = $1{,}2.10^{-2} \times 0{,}105$

$V = 1{,}26.\ 10^{-3}$m/s

2. MOMENT D'UNE FORCE PAR RAPPORT A UN AXE FIXE

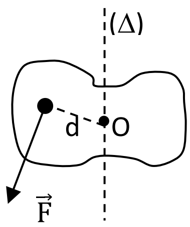
2.1. Définition :

Le moment d'une force, appliquée à un solide par rapport à un axe, est sa capacité à faire tourner le solide autour de l'axe.

Il s'exprime en newton-mètre (N.m).

Il a pour expression $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = F.d$

F est l'intensité de la force et d la distance entre la force et l'axe de rotation (le bras de levier).



2.2 Théorème des moments :

Un solide mobile autour d'un axe fixe (Δ) est en équilibre si la somme des moments des forces extérieures qui s'exercent sur lui, par rapport à cet axe, est nulle.

$\sum \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = 0$

NB : le moment d'une force est une grandeur algébrique

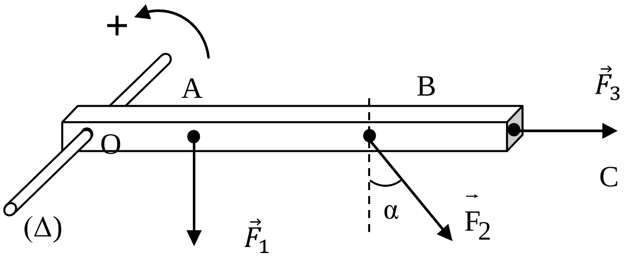
Activité d'application

La figure ci-contre représente une réglette horizontale, mobile autour d'un axe horizontal (Δ) passant par le point O.

On exerce dans un même plan vertical trois forces d'intensités respectives F_1 = 17 N, F_2 = 25 N, F_3 = 23 N.

Détermine les moments algébriques de chacune de ces forces par rapport à l'axe (Δ).

On donne : OA = 16 cm ; OB = 37 cm ; OC = 60 cm ; α = 30°.



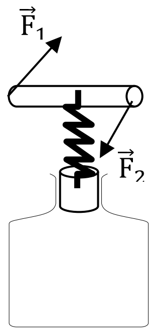
Solution

$\mathcal{M}_{\Delta}\ (\vec{F}_1)$ = - F_1xOA = 17x16.10^{-2} = - 2.72 N.m ; $\mathcal{M}_{\Delta}\ (\vec{F}_3) = 0$; $\mathcal{M}_{\Delta}\ (\vec{F}_2)$ = F_2.OB.cosα = -25x37.10^{-2}.cos30° = 8N.m

3. COUPLE DE FORCES

3.1. Définition :

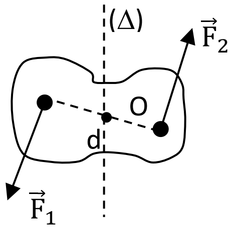
On appelle **couple de forces**, l'ensemble de deux forces $\vec{F}_1$et $\vec{F}_2$ de droites d'actions parallèles de sens opposé et de même intensité.



3.2. Moment d'un couple de force :

Le moment d'un couple de forces, d'intensité F et dont les droites d'action sont distantes de (d), a pour expression :$\mathcal{M}_{\Delta C}$ = **F.d**

- $\mathcal{M}_{\Delta C} > 0$ si le couple entraîne le solide dans le sens positif (+) choisi.
- $\mathcal{M}_{\Delta C} < 0$ si le couple entraîne le solide dans le sens contraire.



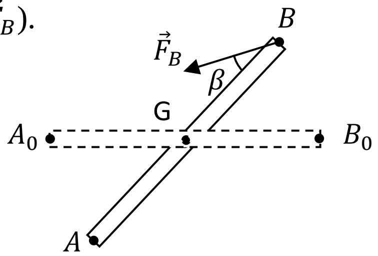
Activité d'application

Une règle en plexiglas de longueur $AB = 50$ cm est mise en mouvement de rotation autour d'un axe(Δ) passant par son centre d'inertie G, par un couple de forces ($\vec{F}_A$, $\vec{F}_B$).

La règle passe de sa position initiale A_0B_0 à la positionAB.

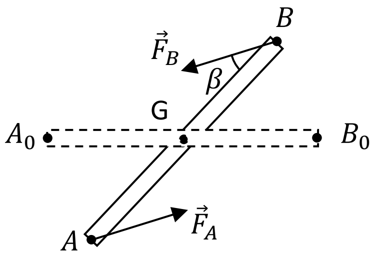
Le moment du couple est $\mathcal{M}_{\Delta C}$ = 20 N.m et chaque force fait un angle $\beta = 30°$ avec la direction de la règle.

1- Représente sur le schéma, la force $\vec{F}_A$.
2- Calcule l'intensité de $\vec{F}_A$ et de $\vec{F}_B$.



Solution

1. Représentation de la force $\vec{F}_A$.



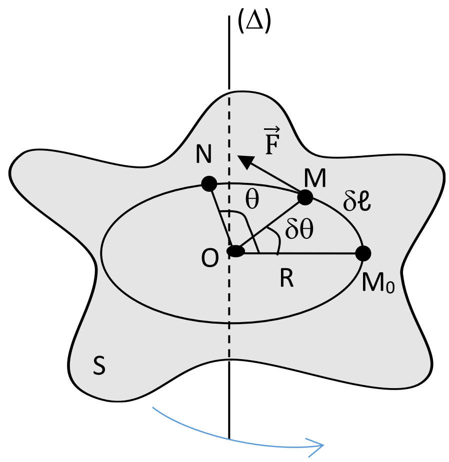
2.Intensité de $\vec{F}_A$ et $\vec{F}_B$: $F_A = F_B = F$

$\mathcal{M}_\Delta$ c $(\vec{F}) = F \times AB \times \sin\beta$.

D'où $F = \frac{\mathcal{M}_\Delta \text{ c } (\vec{F})}{AB \times \sin\beta} = \frac{20}{0,5 \times 0,5} = 80$ N.

4. TRAVAIL D'UNE FORCE ORTHOGONALE A L'AXE DE ROTATION

4.1. Travail élémentaire :



Le point d'application de $\vec{F}$ passe de M_0 à M sur le cercle ($\mathcal{C}$). On note :

•$\delta W = \vec{F}.\overrightarrow{M_0M} = \vec{F}.\ \overrightarrow{\delta\ell} = F.M_0M$ car $\vec{F}$ et $\overrightarrow{M_0M}$ ont même direction et même sens.

• Pour calculer M_0M, on l'assimile à l'arc $\widehat{M_0M}$:

$M_0M \approx \widehat{M_0M} = R.\delta\theta$ (avec δθ en rad et R, rayon du cercle $\mathcal{C}$).

•$\delta W = F.M_0M = F.R.\delta\theta$. Mais le produit F.R est le moment de $\vec{F}$ par rapport à (Δ)

Donc $\delta W = F.R.\delta\theta = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}).\delta\theta$

•**<u>Conclusion</u>** : $\mathbf{W = \mathcal{M}_\Delta(\vec{F}).\theta}$

Généralisation : Lors d'une rotation d'angle θ, le travail d'une force de moment constant par rapport à l'axe de rotation est : W = $\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}).\theta$

4.2. Travail d'un couple :

Pour une rotation d'angle θ et un couple de moment constant, le travail du couple est :

$\mathbf{W_C = \mathcal{M}_C.\ \theta}$

<u>Activité d'application</u>

Le moment d'une force $\vec{F}$ agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe (Δ) est

$\mathcal{M}_\Delta(\vec{F}) = 10$ N.m.

Le travail effectué par la force $\vec{F}$ pour une rotation du solide de 100 tours est :

a- $W = 1000\,J$

b- $W = 6283{,}2\,J$

c- $W = -520{,}7\,J$

Recopie la bonne réponse :

Solution

b- $W = 6283{,}2\,J$

5. PUISSANCE D'UNE FORCE APPLIQUEE A UN SOLIDE EN ROTATION :

5.1. Puissance moyenne :

Si une force (ou un couple de forces) effectue en un temps Δt, un travail W, sa puissance moyenne est définie par :

$$\boxed{\mathbf{P_m = \frac{W}{\Delta t}}}$$

5.2. Puissance instantanée :

5.2.1. Cas d'une force en rotation :

$\mathcal{P} = \boldsymbol{\mathcal{M}}_{\Delta}(\vec{\mathbf{F}}).\boldsymbol{\omega}$

$\mathcal{P}$ en W ; $M_{\Delta}(\vec{F})$ en N.m et ω en rad. s^{-1}.

5.2.2. Cas d'un couple de forces :

$\mathcal{P} = \frac{\delta W_C}{\delta t} = M_C.\frac{\delta\theta}{\delta t} = M_C.\omega \quad \Rightarrow \quad \mathcal{P} = M_C\,.\boldsymbol{\omega}$

Activité d'application 1

Le moment d'une force $\vec{F}$ agissant sur un solide en rotation autour d'un axe fixe (Δ) est $\boldsymbol{\mathcal{M}}_{\Delta}(\vec{F})$ = 10 N.m.

La puissance de cette force lorsque la vitesse angulaire du solide est 2000 $tr.mn^{-1}$ est:

a- $\mathcal{P} = 2094{,}4\ W$

b- $\mathcal{P} = 20000\ W$

c- $\mathcal{P} = 1400{,}5\ W$

Recopie la bonne réponse :

Solution

a- $\mathcal{P} = 2094{,}4\ W$

<u>Activité d'application</u> 2

Une force $\vec{F}$ entraînant un solide dans un mouvement de rotation, développe une puissance de valeur P=320 W. Le solide effectue 22 tours par minute.

Calcule la valeur:

1- de la vitesse angulaire ω;

2-du moment $\boldsymbol{\mathcal{M}}_{\Delta}$ de la force $\vec{F}$.

Solution

1-Calcul de ω :

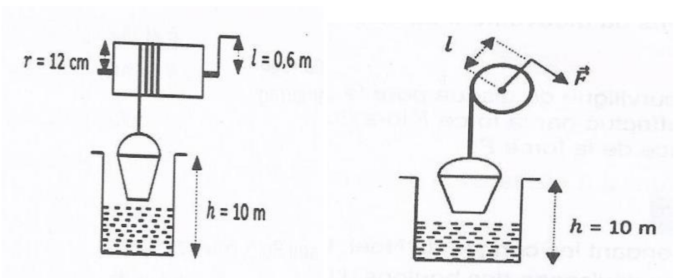
$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ $\qquad \omega = 2\pi\frac{22}{60} = 2{,}3\ rad s^{-1.}$

2-Calcul du moment de la force $\vec{F}$:

$\boldsymbol{\mathcal{M}}_{\Delta} = \frac{P}{\omega} = \frac{320\times60}{22\times2\pi} = 138{,}9$ N.m.

SITUATION D'EVALUATION

Chaque matin, ta camarade de classe utilise un treuil installé sur le puits de la cour familiale pour puiser de l'eau. Ce treuil est constitué d'un tambour et d'une manivelle. Elle fait tourner le tambour de rayon r pour remonter le seau d'eau de masse m d'une hauteur h. Elle exerce alors une force $\vec{F}$ perpendiculaire à la manivelle de longueur l pendant une durée Δ**t**, à vitesse constante (voir schéma ci-dessous).



Tu décides de déterminer l'intensité de la force qu'elle exerce sur le bras de la manivelle.

Données :

- ✓ m = 8 kg ; h = 10 m ; Δt =15 s ; g = 10N/kg.
- ✓ Le fil qui est enroulé sur le tambour est inextensible et de masse négligeable.

1-Fais l'inventaire et représente les forces appliquées au :

1-1- seau d'eau

1-2- treuil

2-Donne la condition pour laquelle le treuil a un mouvement circulaire uniforme

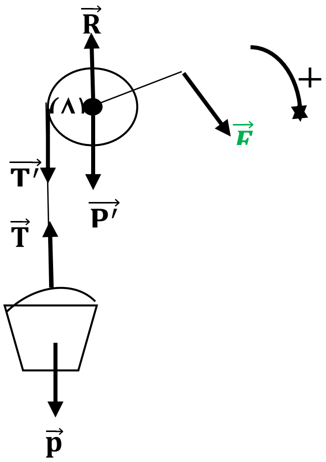
3-Determine :

3.1- l'intensité F de la force exercée sur la manivelle.

3.2- le travail du poids W($\vec{P}$) du seau d'eau.

3.3- le nombre n de tours effectués par le tambour pour remonter le seau d'eau.

Solution



1- Inventaire des forces:

1.1- Au seau d'eau

$\vec{P}$: poids du seau d'eau

$\vec{T}$: tension de la corde

1.2- Au treuil

$\vec{T'}$: tension de la corde

$\vec{f}$: la force d'Akissi

$\vec{P'}$: poids du treuil

$\vec{R}$: la réaction du support du treuil

2-Condition :

Le treuil est animé d'un mouvement circulaire et uniforme si la somme algébrique des moments de toutes les forces qui lui sont appliquées est nulle.

3-

3.1- Intensité de la force f exercée sur la manivelle.

$$\mathcal{M}_{\Delta}(\overrightarrow{T'}) + \mathcal{M}_{\Delta}(\overrightarrow{F}) + \mathcal{M}_{\Delta}(\overrightarrow{P'}) + \mathcal{M}_{\Delta}(\overrightarrow{R}) = 0, \ \mathrm{T = T' = P}$$

$$-T' \times r + F \times l + 0 + 0 = 0$$

$$F \times l = mgr \quad \Longrightarrow \quad F = \frac{mgr}{l}$$

$$A.N: \quad F = \frac{8x10x0,12}{0,6} \quad \Longrightarrow \quad F = 16\,N$$

3.2- Le travail du poids du seau d'eau.

$$W(\overrightarrow{P}) = -mg\boldsymbol{h}$$

$$W(\overrightarrow{P}) = -8x10x10 \quad \Longrightarrow \quad W(\overrightarrow{P}) = -\,800\,J$$

3.3- Le nombre de tours effectué par le tambour

$$\boldsymbol{h} = 2\pi rn \quad \Longrightarrow \quad n = \frac{\boldsymbol{h}}{2\pi r}$$

$$A.N: \quad n = \frac{10}{2\pi x0,12} \quad ; \quad n = 13,3\ tours$$

III. EXERCICES

EXERCICE 1

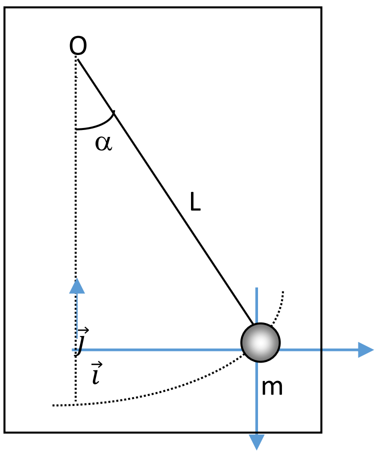
Un pendule simple est constitué d'une bille de masse m = 30 g suspendue par un fil de masse négligeable et de longueur L = 50 cm. On écarte le pendule d'un angle α = 30° par rapport à la verticale puis on le lâche.

1. Fais le bilan des forces qui s'exercent sur la bille et les représenter. On négligera l'action de l'air.
2. Calcule le travail du poids entre la position initiale et la position verticale et dis si ce travail est- moteur ou résistant.

On prendra g = 9,8 N/kg.

3. Déduis le travail de la tension du fil.

Solution



Bilan des forces :

- $\vec{P}$: *le poids de la bille*
- $\vec{T}$: *la tension du fil*

1- Calcul du travail

$$W(\overrightarrow{P}) = -mg\Delta\boldsymbol{z} \qquad avec\ \Delta\boldsymbol{z} = -L(1-\cos\alpha)$$

L'altitude finale est à l'origine de l'axe des côtes.

$$W(\overrightarrow{P}) = mgL(1-\cos\alpha)$$

$$A.N: \quad W(\overrightarrow{P}) = 30.10^{-3} \times 9,8 \times 0,5(1-\cos 30°)$$

$$W(\overrightarrow{P}) = 2.10^{-2}J$$

$$W(\overrightarrow{P}) > 0\ donc\ le\ travail\ est\ moteur.$$

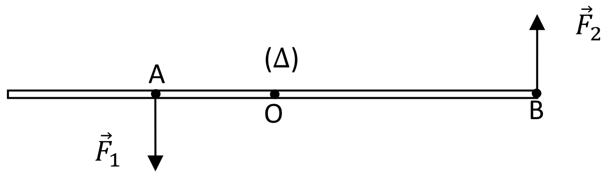
2- Travail de la tension du fil :

$(\overrightarrow{T})$ *est perpendiculaire* au déplacement à chaque instant donc $W(\overrightarrow{T}) = 0\,J$

EXERCICE 2

Un couple de forces ($\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$) d'intensité $F_1 = F_2 = F = 2$ N, fait tourner une barre d'un angle $\alpha = \frac{\pi}{3}$ rad autour d'un axe (Δ) horizontal passant par le point O et perpendiculaire au plan de la figure, pendant $\Delta\boldsymbol{t}$ =2,5 s.

OA = 1,5 cm et OB = 3,5 cm.



1- Calcule le travail W de ce couple.
2- Calcule sa puissance $\mathcal{P}$.

Solution

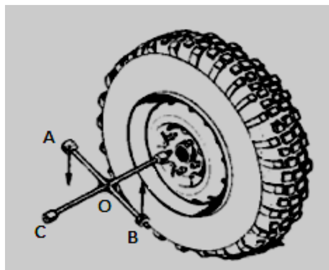
1- Travail du couple : $W = F \times AB \times \alpha$ = 2×0,05×$\frac{\pi}{3} = 1{,}05.10^{-1}J$.

2- Puissance du couple : $\mathcal{P} = F \times AB \times \omega$ = 2×0,05×$\frac{\pi}{3\times 2{,}5} = 4{,}19.10^{-2}W$.

EXERCICE 3

Pour débloquer un boulon, le mécanicien utilise une clé de roue en croisillon, sur laquelle il exerce simultanément une force au point A et une autre force au point B, de même intensité égale à F=130 N (voir figure ci-dessous). La distance AB sur la clé de croisillon vaut d = 38 cm.
Avec un premier couple de forces sur la clé, celle-ci tourne d'un angle α_1 = 20° autour de l'axe (Δ) horizontal, colinéaire à la droite (CO), pendant $\Delta \boldsymbol{t}$ =1s. Le déblocage est réussi après un second couple de forces qui fait tourner la clé d'un angle α_2 = 25° pendant la même durée $\Delta \boldsymbol{t}$.
De retour des congés, il te relate ces faits et te sollicite pour déterminer la puissance des forces appliquées à la clé pour débloquer totalement le boulon.

1- Définis un couple de forces.
2- Détermine le travail W_C effectué par l'ensemble des forces exercées aux points A et B pour débloquer le boulon.
3-Calcule la puissance $\mathcal{P}$ de ces forces.



Solution

1- On appelle couple de forces, un ensemble de deux forces parallèles, de même intensité et de sens contraires, qui fait tourner un système dans un même sens.

2- Travail effectué par l'ensemble des forces exercées aux points A et B pour débloquer le boulon.

W_C = $M_\Delta(\vec{F}_{1,})\times(\alpha_1+\alpha_2)$ + $M_\Delta(\vec{F}_{2,})\times(\alpha_1+\alpha_2)$ = $F \times AB \times (\alpha_1+\alpha_2)$ = 130×0,38×$\frac{\pi}{4}$

W_C == 38,8 J

3- La puissance de ces forces : $\mathcal{P} = \frac{W_C}{2\Delta t} = \frac{38{,}8}{2}$ =19,4 W.

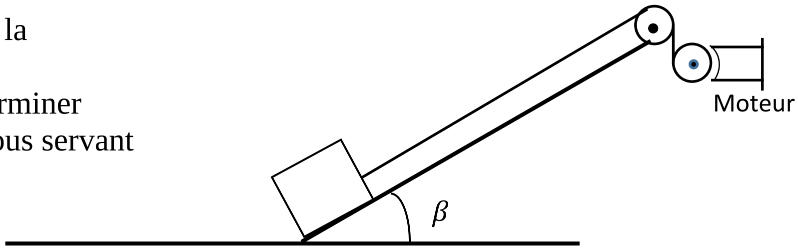
EXERCICE 4

Au cours d'une marche sportive, dans un quartier au relief accidenté, tes amis de classe et toi êtes attirés par la traction d'un bloc métallique de masse m par un moteur en vue de le sortir d'une fosse vide. Pour ce faire, le moteur tracte ce bloc par l'intermédiaire d'un câble rigide et inextensible passant par la gorge d'une poulie de rayon r et de masse négligeable, le long d'un plan incliné d'un angle β. (Voir figure ci-dessous).

Le déplacement du bloc métallique se fait à la vitesse constante V.

De retour à la maison, vous décidez de déterminer la puissance développée par le moteur en vous servant des informations obtenues sur le lieu.

Tu es le rapporteur.



Données :

- ✓ V = 0,9m/s ; r = 15cm ; m = 2t ; **β** = 60° ; g = 10N/kg.
- ✓ Le câble entraine la poulie sans glissement et sa masse est négligeable.
- ✓ Tous les frottements sont négligeables.

1-Donne l'expression de la vitesse angulaire ω de la poulie.

2-Calcule ω.

3-Détermine :

3-1-la valeur de la tension $\vec{T}$ du câble.

3-2-le moment de la force d'entrainement de la poulie par rapport à son axe.

4-Détermine la puissance développée par le moteur.

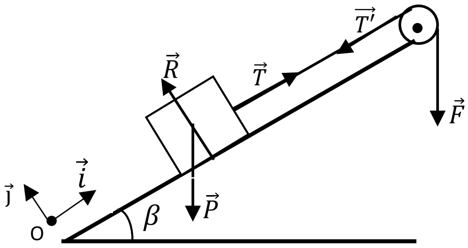
Solution

1-Expression de la vitesse angulaire : $\omega = \frac{v}{r}$

2-Calcul de ω : $\omega = \frac{0,9}{0,15}$

ω = 6 rad/s

3-



3-1 Valeur de la tension $\vec{T}$:

$\vec{R} + \vec{T} + \vec{P} = \vec{0}$

Projection sur (o ;$\vec{\imath}$)

-psinβ + T = 0 ↔ T = mg.sinβ

T= 2000×10× sin(60) ↔ T= 17320,50N

3-2. Moment de la force d'entrainement :

V = cste : $M_\Delta(\vec{F}) + M_\Delta(\vec{T}) = 0$. En norme T =T' donc : $M_\Delta(\overrightarrow{T'}) = -$T'×r = $-$T×r

$M_\Delta(\vec{F}) = - M_\Delta(\overrightarrow{T'})$ = T×r = 17320,50×0,15

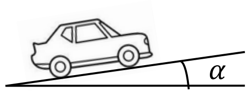
$M_\Delta(\vec{F})$ = 2598,075N.m

4- Puissance développée : $P_m = M_\Delta(\vec{F}) \times \omega$ ou P_m = T×v

P_m = 17320,5× 0,9

P_m =15588,45W.

EXERCICE 5



Tu empruntes avec ton ami un taxi communément appelé "woroworo" pour te rendre au cours. Le taxi de masse m = 500 kg (passagers compris) monte une côte de pente 6 % à la vitesse constante v = 40 km/h.

Le régime du moteur est de 4000 tr. min^{-1}. Les forces de frottements sont équivalentes à une force unique $\vec{f}$ parallèle, opposée au déplacement et d'intensité f = 1200 N.

Ton ami te propose, une fois à destination de déterminer le travail et la puissance des forces intervenant dans votre mouvement.

Tu assimileras le taxi à un solide ponctuel.

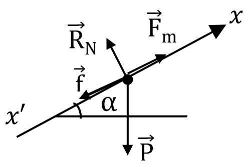
Donnée : $g=10\ m/s^2$.

1. Fais le bilan des forces qui s'exercent sur l'automobile et représente-les sur un schéma.
2. Rappelle le principe de l'inertie puis écris la relation vectorielle entre les différentes forces qui s'exercent sur l'automobile.
3. Déduis-en l'intensité F de la force motrice
4. Calcule :
   4.1 la puissance nécessaire développée par le moteur de l'automobile.
   4.2 le moment du couple- moteur.

Corrigé

1. système : l'auto

Bilan des forces :



$\vec{P}$: poids de l'auto

$\vec{R}_N$: réaction normale du plan

$\vec{f}$: force de frottement

$\vec{F}_m$: la force motrice de l'auto.

2. Dans certains référentiels appelés référentiel galiléen, le centre d'inertie d'un solide isolé ou pseudo isolé a un mouvement rectiligne uniforme s'il est en mouvement ou il reste au repos s'il est initialement immobile.

$v = cte \Longrightarrow \vec{P} + \vec{R}_N + \vec{f} + \vec{F}_m = \vec{0}$

3. Projection sur $(x'x)$ donne : $F_m = \frac{6}{100}mg + f = 2100N$

4.1 $\mathcal{P} = F_m.v = 23{,}3kW$;

42. $\mathcal{M} = \frac{\mathcal{P}}{\omega} = 55{,}6N.m$

IV. DOCUMENTATION

En physique, la **puissance** reflète la vitesse à laquelle un travail est fourni. C'est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. La puissance correspond donc à un débit d'énergie : si deux systèmes de puissances différentes fournissent le même travail, le plus puissant des deux est celui qui est le plus rapide.

Dans le système international, une puissance s'exprime en watts, ce qui correspond à des joules par seconde, ou de façon équivalente à des kg m^2S^{-3}. Une unité ancienne était le cheval vapeur, où la capacité de traction d'une machine à vapeur était comparée à celle d'un cheval de trait.

En tant que grandeur physique, la puissance reflète à la fois la notion de changement matériel dans l'univers, et du temps nécessaire à effectuer ce changement. La puissance se distingue en cela du travail, qui ne prend en compte que le changement, mais non la durée nécessaire.

Ainsi, par exemple, le même travail est effectué lorsqu'une charge pesante est transportée en haut d'un escalier, que le porteur le fasse en marchant ou en courant ; mais la puissance nécessaire dans ce second cas est beaucoup plus grande, d'autant plus que le délai d'accomplissement de ce travail est plus faible.

Un autre exemple paradoxal est que la « combustion complète » d'un kilogramme de charbon produit plus d'énergie que l'explosion d'un kilogramme de TNT : brûler du charbon produit de l'ordre de 15 à 30 mégajoules /kilogramme, tandis que l'explosion de TNT produit à peu près 4,7 MJ kg^{-1} La différence essentielle est en fait une différence de puissance : l'explosion du TNT étant beaucoup plus rapide que la combustion du charbon, la puissance du TNT est bien supérieure à celle du charbon à poids égal, bien que l'énergie intrinsèque du charbon soit supérieure à celle du TNT.
Dans cette leçon, les notions abordées ci-dessous sont appliquées au mouvement de rotation.
Un solide est en mouvement de rotation si la trajectoire de tous ses points sont des cercles dont le centre est une même droite ; cette droite est appelée « axe de rotation », et habituellement notée Δ.
En cinématique dans le plan, les trajectoires des points sont des cercles concentriques, le centre commun de ces cercles est appelé « centre de rotation » et habituellement noté O.
La rotation est donc un mouvement bien distinct de la translation circulaire, mouvement dans lequel les trajectoires des points sont également des cercles, mais de même rayon et de centres différents.

Source : Wikipédia