IV) Lois de Newton (Lois de la nature) :

1ère Loi : Principe de l'inertie

La force appliquée à une particule est nulle si cette particule est en mouvement rectiligne uniforme.

2ème Loi de Newton : Relation fondamentale de la dynamique

Si une particule de masse m constante possède une accélération $\vec{a}$, nous dirons que cette particule est soumise à une force $\vec{F} = m\vec{a}$

3ème Loi de Newton : Principe de l'action et de la réaction

Si une particule A exerce une force sur une particule B, alors la particule B exerce aussi une force sur A ayant la même direction mais de sens opposé.

V) Lois de force

5.1) Poids d'un objet au voisinage de la surface de la Terre :

$\vec{P} = m\vec{g}$ est une Loi de force

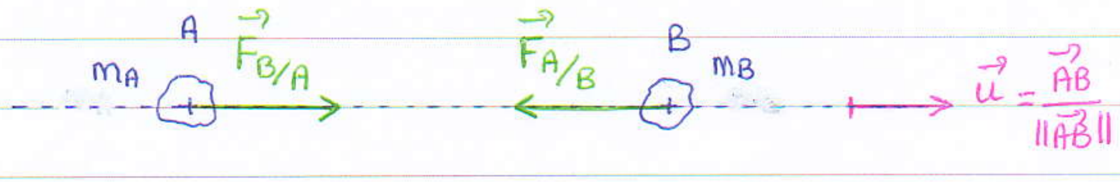
m est la masse de l'objet

$\vec{g}$ est l'accélération de la pesanteur.

5.2) Loi de gravitation universelle :

Soient deux masses m_A et m_B dans les positions A et B respectivement. Les deux corps exercent l'un sur l'autre des forces attractives dites forces d'attraction gravitationnelle. L'expression de ces forces est donnée par :

$$\vec{F}_{A/B} = -\frac{G m_A m_B}{(AB)^2} \underbrace{\frac{\vec{AB}}{\|\vec{AB}\|}}_{\text{vecteur unitaire dirigé de A vers B}} = -\vec{F}_{B/A}$$



Application 1 : 3ème loi de Kepler

Pour une planète quelconque décrivant une orbite circulaire de rayon r_p en un temps T_p autour du soleil, nous avons :

$$\vec{F}_p = m_p \vec{a}_p \Rightarrow -\frac{G m_p M_S}{r_p^2}\vec{u}_r = -m_p \frac{v_p^2}{r_p}\vec{u}_r = -m_p \omega_p^2 r_p \vec{u}_r = -m_p \frac{4\pi^2}{T_p^2} r_p \vec{u}_r$$

$$\Rightarrow \frac{G M_S}{r_p^2} = \frac{4\pi^2}{T_p^2} r_p \Rightarrow \frac{T_p^2}{r_p^3} = \frac{4\pi^2}{G M_S} = \text{constante}$$

$$\Rightarrow \frac{T_{p_1}^2}{r_{p_1}^3} = \frac{T_{p_2}^2}{r_{p_2}^3} = \frac{T_{p_3}^2}{r_{p_3}^3} = \dots = \frac{T_{p_n}^2}{r_{p_n}^3} = \text{constante}$$

C'est la 3ème loi de Kepler

Application 2 : Satellite géostationnaire

Pour un observateur qui se trouve sur l'équateur, un satellite géostationnaire apparaît comme étant fixe. Autrement dit, il tourne avec la même vitesse de rotation de la Terre autour d'elle-même sur l'équateur. Sa période est donc égale à 24h.

En appliquant la 2ème loi de Newton :

$$\frac{G m_s M_T}{r^2} = m_s \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

$$\Rightarrow r = \Big(\underbrace{\frac{G M_T}{R_T^2}}_{g_0} \frac{T^2}{4\pi^2} R_T^2\Big)^{1/3}$$

$$\Rightarrow r = \left(\frac{g_0 R_T^2 T^2}{4\pi^2}\right)^{1/3} = R_T + h$$

$$\Rightarrow h = \left(\frac{g_0 R_T^2 T^2}{4\pi^2}\right)^{1/3} - R_T$$

h étant l'altitude par rapport à la surface de la Terre

A.N : $g_0 = \frac{G M_T}{R_T^2} \simeq 9{,}81\ m/s^2$, $R_T = 6{,}4\times10^6\ m$ et $T = 24h = 8{,}64\times10^4\ s$.

$$h = 35{,}95\times10^6\ m$$

Application 3 : Accélération de la pesanteur en fonction de l'altitude h par rapport à la surface de la Terre.

D'après la loi de gravitation universelle, le poids d'un objet ou un corps de masse m situé à une hauteur h par rapport à la surface de la Terre est donné par :

$$\vec{P} = m\vec{g} = -\frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u_r} \implies g(h) = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$$

où M_T et R_T sont la masse et le rayon de la Terre respectivement.

$$g(h) = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2} = \underbrace{\frac{G\,M_T}{R_T^2}}_{g_0}\,\frac{R_T^2}{(R_T+h)^2}$$

$g(h=0) = g_0 = \frac{G\,M_T}{R_T^2}$: Accélération de la pesanteur à la surface de la Terre

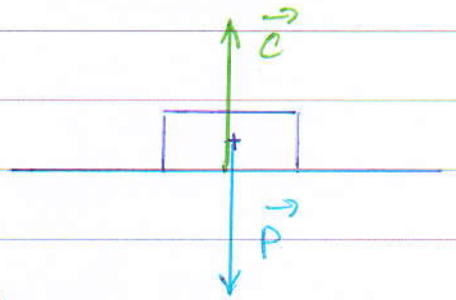
d'où : $g(h) = g_0\,\frac{R_T^2}{(R_T+h)^2}$: Accélération de la pesanteur à la hauteur h

5.3) Forces de contact ou forces de liaison :

Ce sont des forces qui s'exercent entre deux corps en contact l'un avec l'autre. Elles s'opposent à l'interpénétration des corps l'un dans l'autre. Ce sont pour l'essentiel d'origine électrique.

Exemple 1 : Un corps en équilibre sur un plan horizontal.

$$\vec{P} + \vec{C} = \vec{0} \implies \vec{C} = -\vec{P}$$

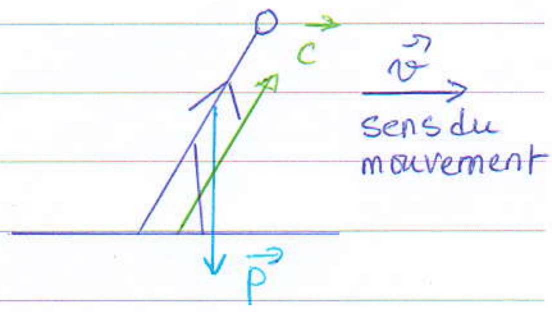


$\vec{C}$ est la force de contact et non pas la réaction. Elle contribue au maintien du corps sur le plan horizontal en équilibre

Exemple 2 : Un piéton en mouvement

D'après la deuxième loi de Newton :

$$\vec{P} + \vec{C} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{C} = m\vec{a} - \vec{P}$$

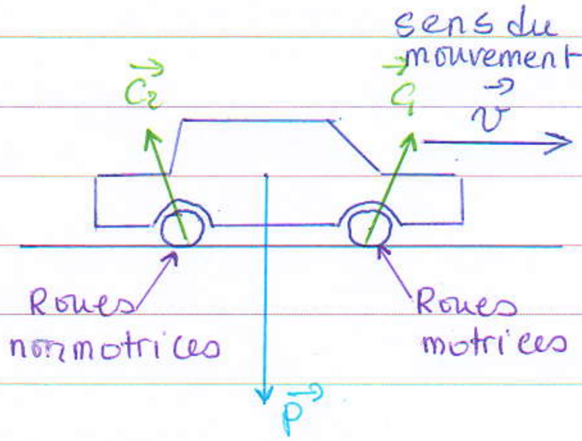


La force de contact $\vec{C}$ contribue au maintien du piéton en mouvement.

Exemple 3 : Une voiture en mouvement

D'après la deuxième loi de Newton :

$$\vec{P} + \vec{C_1} + \vec{C_2} = m\vec{a}$$



Pour les roues motrices, la force de contact $\vec{C_1}$ est une force motrice. Elle sert pour maintenir la voiture en mouvement.

Pour les roues non motrices, la force de contact $\vec{C_2}$ s'oppose au mouvement de la voiture. Donc c'est une force de résistance.

Conclusion

La force de contact n'obéit à aucune loi. Elle est calculée de la manière suivante :

i) Si le mobile est au repos : Elle est calculée de telle façon d'avoir la somme des forces égale à zéro y compris cette dernière.

ii) Si le mobile est en mouvement : elle est calculée de telle façon d'avoir la somme des forces égale à la masse multipliée par l'accélération y compris la force de contact.

5.4) Forces de frottement :

Exemple : Glissement d'un corps sur un plan incliné

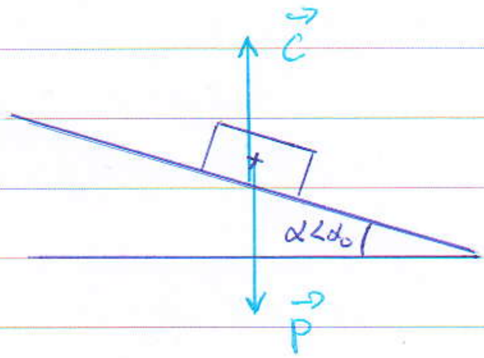
Soit α est l'angle d'inclinaison du plan incliné par rapport au plan horizontal.

On définit α_0 comme étant angle limite à partir duquel nous avons rupture de l'équilibre.

1er cas : $\alpha < \alpha_0$

Le corps de masse m est en équilibre :

$\vec{P} + \vec{C}' = \vec{0} \Rightarrow \vec{C}' = -\vec{P}$.



2ème cas : $\alpha = \alpha_0$

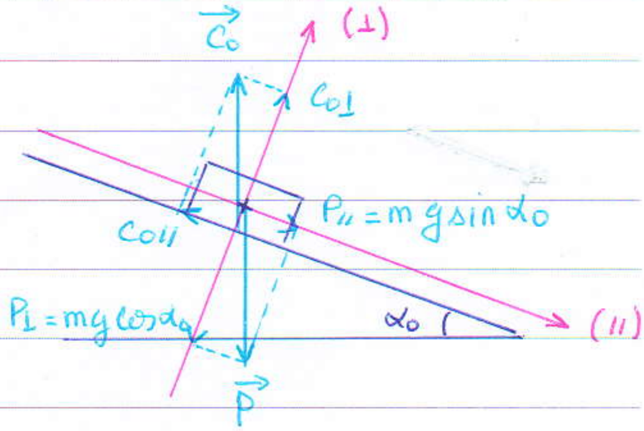
Le corps est dans la limite de rupture de l'équilibre :

$\vec{P} + \vec{C_0} = \vec{0}$

On définit un axe parallèle à la direction du mouvement et un deuxième axe perpendiculaire à la direction du mouvement.

$$\vec{P} + \vec{C_0} = 0 \Rightarrow \begin{cases} mg\sin\alpha_0 - C_{0\parallel} = 0 \\ -mg\cos\alpha_0 + C_{0\perp} = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_{0\parallel} = mg\sin\alpha_0 \\ C_{0\perp} = mg\cos\alpha_0 \end{cases}$$



On définit le coefficient de frottement statique par :

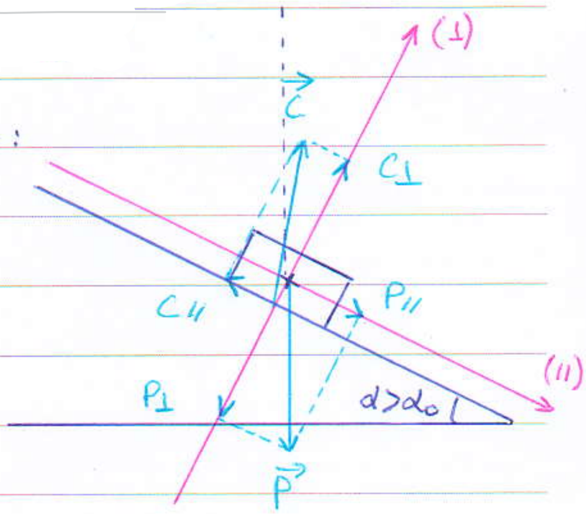
$$\mu_s = \frac{|C_{0\parallel}|}{|C_{0\perp}|} = \frac{mg\sin\alpha_0}{mg\cos\alpha_0} = tg\,\alpha_0$$

Le coefficient de frottement statique ne dépend pas de la masse. Il dépend de la nature des corps en contact et de l'état des surfaces en contact.

3ème cas : $\alpha > \alpha_0$

Le corps se met en mouvement.

La 2ème loi de Newton s'écrit comme suit :



$$\vec{P} + \vec{C} = m\vec{a} \Rightarrow \begin{cases} mg\sin\alpha - C_\parallel = ma \\ -mg\cos\alpha + C_\perp = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_\parallel = mg\sin\alpha - ma \\ C_\perp = mg\cos\alpha \end{cases}$$

On définit le coefficient de frottement dynamique ou de glissement par :

$$\mu_d = \frac{|C_\parallel|}{|C_\perp|} = \frac{|ma - mg\sin\alpha|}{|g\cos\alpha|} = \frac{|a - g\sin\alpha|}{|g\cos\alpha|}$$

Le coefficient de frottement dynamique ou de glissement est indépendant de la vitesse de glissement et de la masse. Il dépend de la nature des corps en contact et de l'état des surfaces en contact.

Remarque :

* Le coefficient de frottement statique est définit à la limite de rupture de l'équilibre.
* Le coefficient de frottement dynamique ou de glissement est définit en mouvement.

5.5) Forces élastiques

On appelle force élastique ou force de rappel, la force qu'exerce le ressort ou l'élastique pour reprendre sa forme initiale. Cette force est proportionnelle à l'étirement ou la compression du ressort ou de l'élastique. Son expression est donnée par :

$\vec{T} = -K\,\vec{OM}$, où "O" est la position où le ressort n'est pas étiré ou comprimé (ressort au repos).

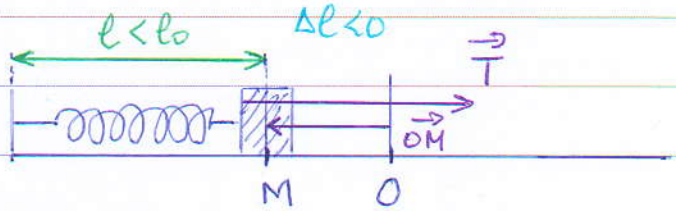
La constante constante de proportionnalité K est appelée constante de raideur du ressort du ressort ou de l'élastique.

Ressort au repos :

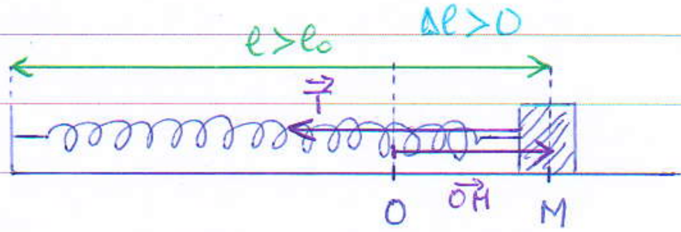
l est la longueur du ressort

l_0 est la longueur à vide du ressort

Ressort comprimé :



Ressort étiré :



$\|\vec{T}\| = K\|\vec{OM}\| = K|\Delta l|$