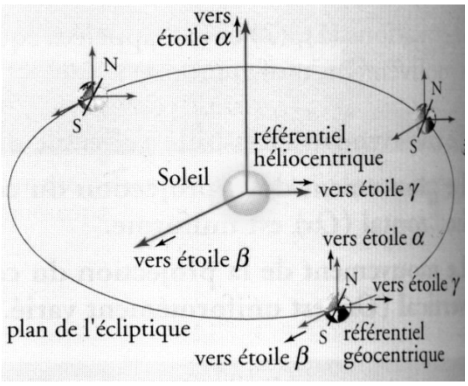
CH 13 – FORCE DE GRAVITATION ET SATELLITES

Le but de ce chapitre est d'étudier le mouvement de satellites naturels (comme la Lune) ou artificiels autour de la Terre ou d'autres planètes, ainsi que le mouvement des planètes autour du Soleil.

1. Choix du référentiel.



Activités 1,2,3 :

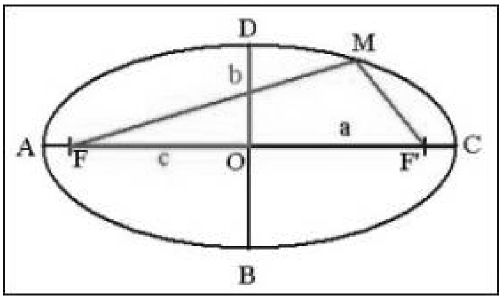
Le référentiel galiléen d'étude des planètes est le référentiel ……………………………………………… ; le repère d'espace est centré au centre du Soleil et les trois axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines.

Le référentiel galiléen d'étude des satellites terrestres est le référentiel ……………………………………… : le repère d'espace est centré au centre de la Terre et les trois axes sont dirigés vers trois étoiles lointaines.

Pour les satellites des autres planètes, on utilise des référentiels galiléens liés aux planètes, et pour les exoplanètes des référentiels galiléens liés aux étoiles correspondantes.

2. Les lois de Képler.

a) Première loi : des orbites.



Dans un référentiel héliocentrique, la trajectoire du centre de chaque planète est une ellipse dont le Soleil est l'un des foyers.

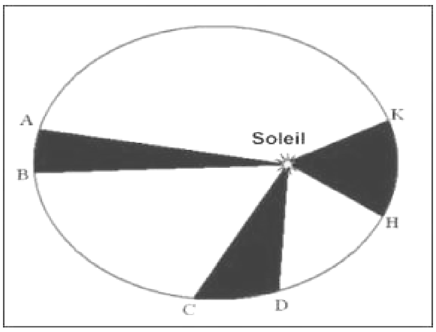
……… = ……. est le demi-grand axe de l'ellipse

……… et ……. sont les ……………………………………… de l'ellipse

L'excentricité de l'ellipse est e = . Pour un cercle e = 0

Les planètes du système solaire ont une excentricité très faible : leur trajectoire peut être considérée comme circulaire

b) Deuxième loi : des aires.



Le segment de droite reliant le centre du Soleil à la planète balaie des aires égales pendant des périodes égales.

Conséquence : la vitesse de la planète est ………………………………………………, elle ……………………………………………. au passage au périhélie et ………………………………… au passage à l'aphélie. Par contre, les mouvements circulaires sont décrits à vitesse ……………………….

c) Troisième loi : des périodes.

Pour toutes les planètes du système solaire, le rapport entre le carré de la période de révolution et le cube du demi-grand axe est le même : ——

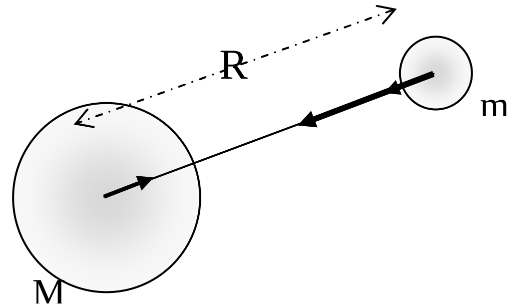
Ce rapport est indépendant de la masse de la planète.

Ces lois s'appliquent de la même façon aux mouvements des satellites dans le référentiel géocentrique.

3. Loi de gravitation de Newton.

Kepler étudiait la trajectoire des planètes. Copernic puis Newton essayèrent de comprendre pourquoi elles tournaient.

La loi d'attraction universelle de Newton s'applique à deux corps ponctuels A et B, distants de (d) : ils exercent l'un sur l'autre deux forces opposées : $F_{A/B} = F_{B/A} =$ —— ou G est la constante de gravitation universelle :



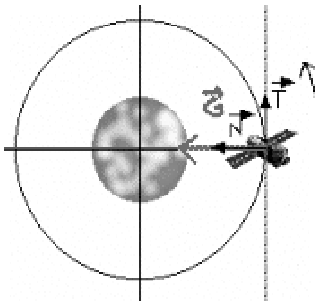
Cette loi s'applique à tous les corps à symétrie sphérique de masse (étoiles et planètes) ainsi qu'aux corps de petites dimensions (par rapport à la distance qui les sépare de l'astre attracteur) :

Sous forme vectorielle elle s'écrit :

= . ———— . = . ———— .

4. Mouvement circulaire uniforme.

Le mouvement d'un point matériel est circulaire uniforme lorsque sa trajectoire est un …………………………… et que sa vitesse garde ……………………………………………………………………………



✘ Il est plus facile d'étudier la vitesse et l'accélération de ce point dans un repère non galiléen, lié au point mobile : la base de Frenet :

- Le vecteur …………. est tangent à la trajectoire, dans le sens du mouvement,
- Le vecteur ………….. est dirigé vers le centre du cercle, perpendiculaire à

✘ Dans la base de Frenet, la vitesse a deux composantes (v_N = ……… et v_T = ………)

= ……………………………

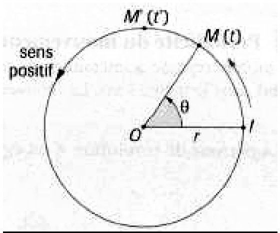
Et l'accélération (a_N = …………… et a_T = ………………)

= ……………… + ………………

✘ Lorsque le mouvement circulaire est uniforme : v = ……………………………………… donc — = ………. .

Il reste donc = …………………………… : l'accélération est dirigée suivant le ……………………………… : c'est une accélération …………………………………………………

✘ On utilise souvent la vitesse angulaire ω :



— et $v_{(m/s)} = R_{(m)} \cdot \omega_{(rad/s)}$

✘ Et on définit la période de révolution T : durée d'une révolution :

T = ———— =———— = ———

5. Mouvement des planètes.

L'astre attracteur est le Soleil, de masse M_S . La planète a une masse (m) , son centre est situé à une distance (R) du centre du Soleil

✖ Etude du système

Système : {planète}

Référentiel galiléen héliocentrique.

Bilan des forces : force d'attraction universelle : $\vec{F}$ = ……………………………………………= ……………………………………………….

✖ $2^{ème}$ loi de Newton.

Dans ce référentiel galiléen, on applique la deuxième loi de Newton : ……………………

Donc $\vec{F}$ = ……………………………………………… = ……………………………   D'où : $\vec{a}$ = ……………………………… $\overrightarrow{N}$

✖ Dans la base de Frenet :

$\vec{a}$ = ……………… $\overrightarrow{N}$ + ……………… $\vec{T}$

Donc …………………… = ……………………………   et   …………………… = …………………. (mouvement ………………….)

Et : v^2 = ……………………………   Donc $\boxed{v = ………………………}$

Enfin : T = ————   soit T^2 = ————— = ——————

Et $\boxed{\frac{T^2}{R^3} = …………………… = ………………}$ C'est la troisième loi de Képler.

Remarque : V et T ……………………………………………………………………… de la masse de la planète.

1. Mouvement des satellites de la Terre.

L'astre attracteur est la Terre de masse M_T. Le satellite de masse (m), gravitant à l'altitude h est donc situé à la distance r = (R_T + h) du centre de la Terre (R_T étant le rayon terrestre)

✖ Etude du système

Système : {satellite}

Référentiel galiléen géocentrique.

Bilan des forces : force d'attraction universelle : $\vec{F}$ = ……………………………………………

✖ $2^{ème}$ loi de Newton.

Dans ce référentiel galiléen, on applique la deuxième loi de Newton : ……………………

Donc $\vec{F}$ = ……………………………………………… = ……………………………   D'où : $\vec{a}$ = ……………………………… $\overrightarrow{N}$

✘ Dans la base de Frenet :

= ……………… + ………………

Donc …………………….. = …………………………… et …………………… = ………………… (mouvement ………………….)

Et : v^2 = …………………………… Donc $\boxed{v = \text{………………………}}$

Enfin : T = ―――― soit T^2 = ―――――― = ――――――――

Et $\boxed{\text{――} = \text{……………………} = \text{………………}}$ C'est la troisième loi de Képler.

Remarque : V et T ……………………………………………………………………………… de la masse du satellite, mais simplement de son altitude.

✘ Les satellites géostationnaires (9) :

Comme leur nom l'indique, ces satellites sont fixes (stationnaires) par rapport à la terre (géo).
Pour que ce soit le cas, il faut qu'ils décrivent un mouvement circulaire uniforme dans le plan équatorial, qu'ils tournent dans le même sens que la terre autour de l'axe des pôles, et que leur période de révolution soit exactement égale à la période de rotation de la terre autour de l'axe de ces pôles (24H environ).

On peut calculer l'altitude à laquelle le satellite doit se situer pour satisfaire cette dernière condition :

_ ――= ……………………… donc r^3 = ………………………… = …………………………

Donc r = ……………………………….. soit h = ……………………………

Tous les satellites géostationnaires sont donc en orbite à cette altitude.

✘ Etat d'impesanteur.

L'impesanteur n'est pas l'absence de pesanteur !!

Lorsque le satellite est en orbite, l'objet est animé du même mouvement que le satellite. Si on le libère à un instant t, il n'est plus soumis qu'à la force de gravitation exercée par la Terre.
D'après la loi de Newton, le satellite et l'objet qu'il contient sont soumis à la même accélération radiale qui ne dépend que de leur distance au centre de la terre.
Comme leur distance au centre de la Terre est égale, ils ont exactement le même mouvement, l'objet semble flotter dans le satellite. En fait, ils sont tous les deux animés du même mouvement de chute libre tout autour de la terre.