SI - Physique

Table des matières

1 Mouvement et interactions

1.1 Vecteur position

Dans un repère $(o, \vec{i}, \vec{j})$ lié au référentiel, la position d'un point M est donnée par le vecteur position $O\vec{M}(t)$

$$O\vec{M}(t) \quad \begin{cases} x(t) \\ y(t) \end{cases}$$

1.2 Vecteur vitesse

Dans un référentiel donné, le vecteur vitesse d'un point M à l'instant t est égal à la dérivée, par rapport au temps, du vecteur position $O\vec{M}(t)$ à cet instant

$$\vec{v}(t) = \frac{dO\vec{M}(t)}{dt} \quad \begin{cases} v_x(t) = \dfrac{dx(t)}{dt} \\ v_y(t) = \dfrac{dy(t)}{dt} \end{cases}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

1.3 Vecteur accélération

Dans un référentiel donné, le vecteur accélération d'un point M à l'instant t est égal à la dérivée, par rapport au temps, du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ à cet instant

$$\vec{a}(t) = \frac{d\vec{v}(t)}{dt} \quad \begin{cases} a_x(t) = \dfrac{dv_x(t)}{dt} = \dfrac{d^2x(t)}{dt^2} \\ a_y(t) = \dfrac{dv_y(t)}{dt} = \dfrac{d^2y(t)}{dt^2} \end{cases}$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

1.4 Mouvements rectilignes

Mouvement	**Rectiligne uniform**	**Rectiligne uniformément varié**
Vecteur accélération $\vec{a}$	$\vec{a} = \vec{0}$	Direction : droite support de la trajectoire Sens : - celui de $\vec{v}$ si le mouvement est accéléré - opposé à $\vec{v}$ si le mouvement est ralenti Valeur : a en $m.s^{-2}$ constante

1.5 Mouvements circulaire

Dans lerepère de Frenet $(M, \vec{u}_n, \vec{u}_t)$, pour un mouvement circulaire de rayon R

$$\vec{v} = v \times \vec{u}_t$$

$$\vec{a} = \frac{v^2}{R}\vec{u}_n + \frac{dv(t)}{dt}\vec{u}_t \quad \begin{cases} a_n(t) = \dfrac{v^2}{R} \\ a_t(t) = \dfrac{dv(t)}{dt} \end{cases}$$

1.6 La deuxième Loi de Newton

On connait pour le moment une approximation de la deuxième Loi de newton :

$$\sum \vec{F} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Si Δt tend vers zéro :

$$\lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\right) = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$$

Ce qui nous donne la vrai deuxième Loi de newton :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_G$$

Système est immobile $\rightarrow \sum \vec{F} = \vec{0} \rightarrow m\vec{a}_G = \vec{0} \rightarrow \vec{a}_G = \vec{0} \rightarrow \vec{v} = c\vec{te}$

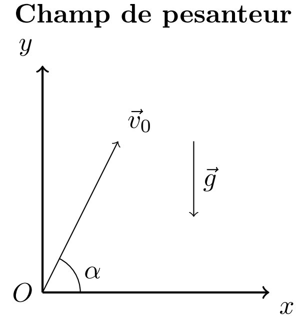
1.7 Mouvement dans un champ uniforme

Un champ vectoriel uniforme est un champ qui garde en tout point d'une région de l'espace, la même direction, le même sens et la même valeur.

Dans une region de l'espace de faible dimension par rapport a la Terre, un champ de pesanteur $\vec{g}$ peut être considerer comme uniforme.

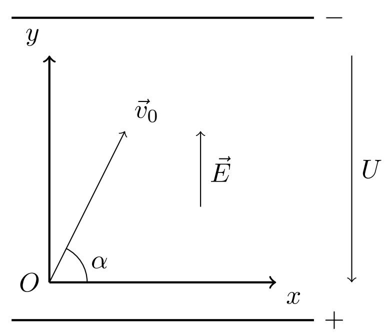
On considere un objet de masse m soumis a un champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ et une particule de charge q et de masse m soumis a un champ électrique uniforme $\vec{E}$ tout deux avec une vitesse initiale $\vec{v_0}$. On neglige les force de frotements.

Champ de pesanteur



et

Champ de electrique



1.7.1 Détermination du vecteur accélération

La deuxième Loi de Newton nous dit que $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ donc :

Champ de pesanteur

$$\sum \vec{F} = \vec{P} = m\vec{g} \quad \text{soit} \quad m\vec{a} = m\vec{g}$$

$$\text{ainsi} \quad \vec{a} = \vec{g}$$

Ce qui nous donne :

$$\vec{a} = \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \\ a_z = 0 \end{cases}$$

et

Champ de electrique

$$\sum \vec{F} = \vec{F}_e = q\vec{E} \quad \text{soit} \quad m\vec{a} = q\vec{E}$$

$$\text{ainsi} \quad \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$$

Ce qui nous donne :

$$\vec{a} = \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \dfrac{q}{m}E \\ a_z = 0 \end{cases}$$

1.7.2 Détermination du vecteur vitesse

Par definition, on sait que $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$ donc :

Soit C_x, C_y et C_z des constantes d'integration.

Champ de pesanteur et **Champ de electrique**

$$\vec{v} = \int \vec{a}\ dt = \begin{cases} a_x = C_x \\ a_y = -gt + C_y \\ a_z = C_z \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{v} = \int \vec{a}\ dt = \begin{cases} a_x = C_x \\ a_y = \dfrac{q}{m}Et + C_y \\ a_z = C_z \end{cases}$$

Cherchons les constantes d'integration en utilisant la condition initiale $\vec{v_0}$:

$$\vec{v_0} = \begin{cases} v_{0x} = V_0 \cos\alpha = C_x \\ v_{0y} = V_0 \sin\alpha = C_y \\ v_{0z} = 0 = C_z \end{cases}$$

donc :

Champ de pesanteur et **Champ de electrique**

$$\vec{v} = \begin{cases} a_x = v_0 \cos\alpha \\ a_y = -gt + v_0 \sin\alpha \\ a_z = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{v} = \begin{cases} a_x = v_0 \cos\alpha \\ a_y = \dfrac{q}{m}Et + v_0 \sin\alpha \\ a_z = 0 \end{cases}$$

1.7.3 Détermination du vecteur position

Par definition, on sait que $\vec{v} = \frac{d\vec{OM}}{dt}$ donc :

Soit D_x, D_y et D_z des constantes d'integration.

Champ de pesanteur et **Champ de electrique**

$$\vec{OM} = \int \vec{v}\ dt = \begin{cases} x = v_0 \cos\alpha t + D_x \\ y = -\dfrac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin\alpha t + D_y \\ z = D_z \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{OM} = \int \vec{v}\ dt = \begin{cases} x = v_0 \cos\alpha t + D_x \\ y = \dfrac{q}{2m}Et^2 + v_0 \sin\alpha t + D_y \\ z = D_z \end{cases}$$

Cherchons les constantes d'integration en utilisant la condition initiale $\vec{OM}_0$:

$$\vec{OM}_0 = \begin{cases} x_0 = D_x \\ y_0 = D_y \\ z_0 = 0 = D_z \end{cases}$$

donc :

Champ de pesanteur et **Champ de electrique**

$$\vec{OM} = \begin{cases} x = v_0 \cos\alpha t + x_0 \\ y = -\dfrac{1}{2}gt^2 + v_0 \sin\alpha t + y_0 \\ z = 0 \end{cases} \quad \text{et} \quad \vec{OM} = \begin{cases} x = v_0 \cos\alpha t + x_0 \\ y = \dfrac{q}{2m}Et^2 + v_0 \sin\alpha t + y_0 \\ z = 0 \end{cases}$$

1.7.4 Détermination de l'equation de la trajectoire

Le but ici est de trouver une equation de la forme $y = f(x)$. L'on peux donc isoler t dans l'equation de $x(t)$ et le remplacer dans l'equation de $y(t)$:

$$t = \frac{x - x_0}{v_0 \cos\alpha} = \frac{\Delta x}{v_0 \cos\alpha}$$

On peut maintenant remplacer t dans l'equation de $y(t)$:

Champ de pesanteur

$$y = -\frac{1}{2} g \left(\frac{\Delta x}{v_0 \cos\alpha}\right)^2 + v_0 \sin\alpha \left(\frac{\Delta x}{v_0 \cos\alpha}\right) + y_0$$

et

Champ de electrique

$$y = \frac{q}{2m} E \left(\frac{\Delta x}{v_0 \cos\alpha}\right)^2 + v_0 \sin\alpha \left(\frac{\Delta x}{v_0 \cos\alpha}\right) + y_0$$

La trajectoire du systeme est donc :

Champ de pesanteur

$$y = -\frac{g}{2(v_0 \cos\alpha)^2} \Delta x^2 + \tan\alpha \Delta x + y_0$$

et

Champ de electrique

$$y = \frac{qE}{2m(v_0 \cos\alpha)^2} \Delta x^2 + \tan\alpha \Delta x + y_0$$

1.8 Théorème de l'énergie mecanique, travail d'une force

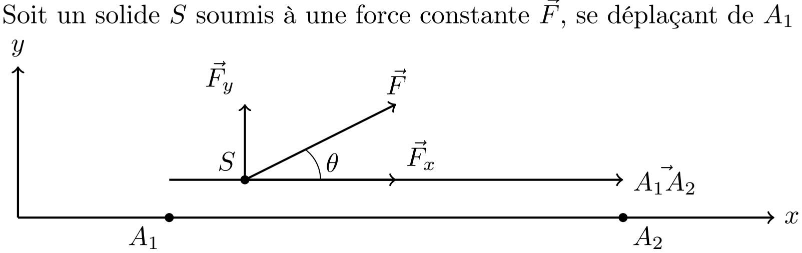
1.8.1 Travail d'une force constante

Le travail d'une force constante $\vec{F}$ qui fait déplacer son point d'application A d'une position A_1 à une position A_2 est défini par :

$$W_{A_1 \to A_2}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{A_1 A_2} = F \times A_1 A_2 \times \cos\theta$$

Concretement, le c'est le produit de l'effort utile avec la trajectoire.

Soit un solide S soumis à une force constante $\vec{F}$, se déplaçant de A_1 à A_2.



Ici, la force utile au mouvement est la composante de $\vec{F}$ selon x :

$$F_x = F \cos\theta$$

Donc le travail de la force $\vec{F}$ est :

$$W_{A_1 \to A_2}(\vec{F}) = F \times A_1 A_2 \times \cos\theta = F_x \times A_1 A_2$$

1.8.2 Force conservatrice ou non-conservatrice et chute libre

Une force est dite conservatrice si le travail de cette force ne dépend pas du chemin suivi entre les deux points considérés.

Les seules forces non-conservatrices sont les forces de frottements.

Une chute libre est le mouvement d'un solide soumis uniquement à son poids $\vec{P} = m\vec{g}$.

1.8.3 Théorème de l'énergie mécanique

Le théorème de l'énergie mécanique stipule que la variation de l'énergie mécanique d'un système entre deux positions A_1 et A_2 est égale à la somme des travaux des forces non-conservatrices qui s'exercent sur le système lorsque celui-ci se déplace de A_1 à A_2.

$$\Delta E_m = \sum W_{A_1 \to A_2}(\vec{F}_{NC}) \quad \begin{cases} \Delta E_m : \text{variation de l'énergie mécanique} \\ \vec{F}_{NC} : \text{forces non-conservatrices} \end{cases}$$

Dans le cas où il n'y a pas de forces non-conservatrices, l'énergie mécanique se conserve.

L'energie mécanique E_m est la somme de l'énergie cinétique E_c et de l'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} :

$$E_m = E_c + E_{pp}$$

1.9 Théorème de l'energie cinétique

Le théorème de l'énergie cinétique stipule que la variation de l'énergie cinétique d'un système entre deux positions A_1 et A_2 est égale à la somme des travaux des forces qui s'exercent sur le système lorsque celui-ci se déplace de A_1 à A_2.

$$\Delta E_c = \sum W_{A_1 \to A_2}(\vec{F})$$

L'energie cinétique E_c d'un solide de masse m et de vitesse v est définie par :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

1.10 Théorème de l'energie potentielle de pesanteur

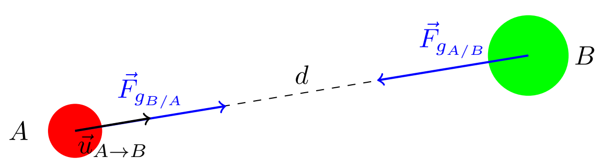
L'energie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un solide de masse m situé à une hauteur h dans un champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ est définie par :

$$E_{pp} = mgh \qquad \begin{cases} h \text{ : hauteur par rapport au niveau de référence en } m \\ g \text{ : intensité du champ de pesanteur en } m.s^{-2} \end{cases}$$

1.11 Le mouvement des satellites et des planètes

1.11.1 Force et champ de gravitation

La force de gravitation $\vec{F}_{A/B}$ exercée par un corps de masse m_A sur un corps de masse m_B séparés par une distance r est donnée par :



$$\vec{F}_{A/B} = -G \frac{m_A m_B}{r^2} \vec{u}_{A \to B}$$

2 Ondes et signaux - sons et effet doppler

2.1 Intensité sonore

L'intensité sonore I d'une onde sonore est définie par :

$$I = \frac{P}{S} \qquad \begin{cases} P : \text{puissance en } W \\ S : \text{surface en } m^2 \end{cases}$$

2.2 Niveau d'intensité sonore

Le niveau d'intensité sonore L en décibels (dB) est défini par la relation suivante :

$$L = 10 \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad \begin{cases} I : \text{intensité sonore en } W.m^{-2} \\ I_0 : \text{intensité sonore de référence en } W.m^{-2} \\ L : \text{niveau d'intensité sonore en dB} \end{cases}$$

2.3 Atténuation

2.3.1 Atténuation géométrique

L'atténuation géométrique d'une onde sonore est due à la dispersion de l'énergie sonore dans l'espace. Lorsque l'onde se propage, son intensité diminue avec la distance. Pour une source ponctuelle, l'intensité sonore I à une distance r de la source est donnée par :

$$A = L_{proche} - L_{eloigne} \qquad \begin{cases} A : \text{atténuation en dB} \\ L_{proche} : \text{niveau d'intensité sonore proche de la source en dB} \\ L_{eloigne} : \text{niveau d'intensité sonore éloigné de la source en dB} \end{cases}$$

2.3.2 Atténuation par absorption

L'atténuation par absorption d'une onde sonore est due à l'absorption de l'énergie sonore par les matériaux qu'elle traverse. Cette absorption dépend de la fréquence de l'onde et des propriétés du matériau. L'atténuation par absorption est généralement modélisée par une loi exponentielle :

$$A = L_{incident} - L_{transmis} \qquad \begin{cases} A : \text{atténuation en dB} \\ L_{incident} : \text{niveau d'intensité sonore incident en dB} \\ L_{transmis} : \text{niveau d'intensité sonore transmis en dB} \end{cases}$$

2.4 Effet Doppler

L'effet Doppler est un phénomène qui se produit lorsqu'une source sonore se déplace par rapport à un observateur. Il se manifeste par une variation de la fréquence et de la longueur d'onde du son perçu par l'observateur.

— Lorsque la source se rapproche de l'observateur, la fréquence augmente (décalage vers le bleu).

— Lorsque la source s'éloigne, la fréquence diminue (décalage vers le rouge).

Le décalage de fréquence Δf peut être exprimé en fonction de la vitesse de la source et de l'observateur :

$$\Delta f = f_R - f_E \qquad \begin{cases} f_R : \text{fréquence reçue par l'observateur en Hz} \\ f_E : \text{fréquence émise par la source en Hz} \end{cases}$$

Soit deux bips émis à $t = T$ d'intervalle par une source en mouvement à la vitesse v.

Si la source n'étais pas en mouvement, les deux bips seraient perçus avec une distance de $\lambda = cT$.

Mais comme la source est en mouvement, la distance diminue (ou augmente selon le sens du déplacement) de $\Delta\lambda = vT$.

D'ou la distance entre les deux bips perçus est donnée par :

$$\lambda' = \lambda \pm \Delta\lambda = cT \pm vT = (c \pm v)T = \frac{c \pm v}{c}\lambda \qquad \begin{cases} \lambda' : \text{longueur d'onde perçue en m} \\ \lambda : \text{longueur d'onde émise en m} \\ c : \text{vitesse du son en m/s} \\ v : \text{vitesse de la source en m/s} \\ T : \text{intervalle de temps entre les bips en s} \end{cases}$$

Pour une source se rapprochant de l'observateur, on utilise le signe moins, et pour une source s'éloignant de l'observateur, on utilise le signe plus.

Or, l'on sait que $\lambda = \frac{c}{f}$, d'ou :

$$\lambda' = \frac{c \pm v}{c}\lambda \Leftrightarrow \frac{c}{f_R} = \frac{c \pm v}{c}\frac{c}{f_E} \Leftrightarrow f_R = \frac{c}{c \pm v} f_E$$

Pour avoir la vitesse de la source qui s'approche du récepteur, on peut utiliser la relation entre la fréquence et la vitesse :

$$f_R = \frac{c}{c - v} f_E \Leftrightarrow c - v = c\frac{f_E}{f_R} \Leftrightarrow v = c - c\frac{f_E}{f_R} = c\left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right) = c\frac{f_R - f_E}{f_R} = c\frac{\Delta f}{f_R}$$

En utilisant les relations précédentes, on peut exprimer la vitesse de la source en fonction des fréquences observées et émises :

3 L'énergie - Conversion et transfert

3.1 Premier principe de la thermodynamique et bilan énergétique

3.1.1 Le modèle du gaz parfait

Un gaz parfait est un modèle de gaz dans lequel,

Macroscopique	**Microscopique**
Le gaz est au repos a la temperature T (en K)	Mouvement incessant et désordonné des entitees de gaz, assimilees

L'equation d'état des gaz parfaits relie la pression P, le volume V et la température T d'un gaz parfait :

$$PV = nRT$$

où n est le nombre de moles de gaz et R est la constante des gaz parfaits.

3.1.2 L'energie interne et les modes de transfert de l'energie

L'énergie interne d'un gaz parfait est liée à la température du gaz. Elle est définie comme la somme des énergies cinétiques de toutes les molécules du gaz.

Le travail W est un transfert d'énergie qui se produit lorsque la force est appliquée sur un objet et que cet objet se déplace.

Le transfert de chaleur Q est un autre mode de transfert d'énergie qui se produit lorsque deux systèmes à des températures différentes sont mis en contact.

Par convention, le travail et le transfert de chaleur sont comptés :

— Positivement s'ils sont reçus par le système

— Négativement s'ils sont cédés par le système

3.1.3 Le premier principe de la thermodynamique

Le premier principe de la thermodynamique, également connu sous le nom de principe de conservation de l'énergie, stipule que l'énergie totale d'un système isolé reste constante. En d'autres termes, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite, mais seulement transformée d'une forme à une autre.

Matériellement, cela se traduit par l'équation suivante :

$$\Delta U_{i\to f} = Q + W \qquad \begin{cases} \Delta U : \text{variation de l'énergie interne (en } J) \\ Q : \text{chaleur échangée avec l'environnement (en } J) \\ W : \text{travail effectué par le système (en } J) \end{cases}$$

3.1.4 Energie interne d'un système incompressible

Pour un système incompressible, la variation de l'énergie interne est liée à la chaleur échangée et au travail effectué par le système. Dans ce cas, on peut écrire :

$$\Delta U_{i\to f} = m \times c \times \Delta T = m \times c \times \Delta\theta \qquad \begin{cases} \Delta U : \text{variation de l'énergie interne (en } J) \\ m : \text{masse du système (en } kg) \\ c : \text{capacité calorifique (en } J.kg^{-1}.K^{-1}) \\ \Delta T : \text{variation de température (en } K) \\ \Delta\theta : \text{variation de température (en °C)} \end{cases}$$

3.2 Transferts thermiques

3.2.1 Modes de transfert thermique

Il existe trois modes principaux de transfert thermique :

— **Conduction :** Transfert de chaleur par contact direct entre les particules. La chaleur se propage de la région chaude vers la région froide.

— **Convection :** Transfert de chaleur par le mouvement des fluides (liquides ou gaz). Les zones chaudes du fluide montent, tandis que les zones froides descendent.
— **Rayonnement :** Transfert de chaleur par des ondes électromagnétiques. Ce mode ne nécessite pas de milieu matériel et peut se produire dans le vide.

3.2.2 Flux thermique

Le flux thermique est la quantité de chaleur transférée par unité de temps à travers une surface. Il est généralement noté Φ et s'exprime en watts (W), où 1 W = 1 J/s. On a :

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad \begin{cases} \Phi : \text{flux thermique (en } W) \\ Q : \text{chaleur échangée (en } J) \\ \Delta t : \text{durée de l'échange (en } s) \end{cases}$$

Par convention, le flux thermique est compté :
— Positivement s'il est reçu par le système
— Négativement s'il est cédé par le système

3.2.3 Resistance thermique

La résistance thermique R_{th} est une mesure de la capacité d'un matériau à résister au transfert de chaleur. Elle est définie comme le rapport de la différence de température à travers le matériau au flux thermique qui le traverse :

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{\Phi} \quad \begin{cases} R_{th} : \text{résistance thermique (en } K.W^{-1}) \\ \Delta T : \text{différence de température à travers le matériau (en } K) \\ \Phi : \text{flux thermique à travers le matériau (en } W) \end{cases}$$

La résistance thermique R_{th} peut être utilisée pour évaluer l'efficacité des matériaux isolants. Plus la résistance thermique est élevée, meilleur est l'isolant.

3.2.4 La loi de Newton

Modele de la loi de Newton Lorsque le principal mode de transfert thermique est la convection dans le fluide, la loi de Newton modélise le flux thermique à travers une surface en fonction de la différence de température entre la surface et le fluide environnant :

$$\Phi = h \times S \times (T_e - T) \quad \begin{cases} \Phi : \text{flux thermique (en } W) \\ h : \text{coefficient de convection (en } W.m^{-2}.K^{-1}) \\ S : \text{surface (en } m^2) \\ T : \text{température (en } K) \end{cases}$$

Etablissement de l'equation différencielle On a,

$$\begin{aligned} \Delta U_{i \to f} &= \Phi \times \Delta t \\ &= hS(T_e - T) \times \Delta t \\ &= mc\Delta T = hS(T_e - T) \\ \Leftrightarrow \frac{\Delta T}{\Delta t} &= \frac{hS}{mc}(T_e - T) \\ \Leftrightarrow \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta T}{\Delta t} &= \frac{dT}{dt} = \frac{hS}{mc}(T_e - T) = -\frac{hS}{mc}T + \frac{hS}{mc}T_e \end{aligned}$$

On a donc ici, une equation différencielle du type $y' = ay + b$.
Or, l'on sait que $y' = ay + b \Leftrightarrow \exists K \in \mathbb{R} \mid y = Ke^{at} - \frac{b}{a}$

Posons ici, $a = -\frac{hS}{mc}$, on a :

$$T(t) = Ke^{at} - \frac{-aT_e}{a} = Ke^{at} + T_e$$

Posons maintenant T_i, la temperature initiale du systéme, on a :

$$T(0) = T_i = Ke^{a\times 0} + T_e = K + T_e \Leftrightarrow K = T_i - T_e$$

D'ou, on a la loi de Newton :

$$T(t) = (T_i - T_e)e^{-\frac{hS}{mc}t} + T_e$$