

ORDRES DE GRANDEURS

Introduction

Les problèmes physiques sont généralement gouvernés par des grandeurs caractéristiques. L'utilisation de ces grandeurs caractéristiques suffit souvent pour avoir une idée du comportement d'un système physique. De plus elles permettent de faire des calculs rapides permettant de justifier des approximations et donc d'éviter des calculs fastidieux. Il s'agit dans ce cas d'accéder à l'essentiel de la physique du problème.

I Approximation de la fonction et de ses dérivées

Par commodité, nous raisonnerons sur des fonctions à une variable. Une grandeur physique dépend du temps s'exprime généralement sous la forme :

$$x(t) = X_m \times f\left(\frac{t}{\tau}\right)$$

Une solution réaliste à un problème physique est bornée. Donc la fonction f est bornée¹. Ainsi en ordre de grandeur, on écrira que :

$$x(t) \approx X_m$$

Les fonctions physique sont généralement dérivables (du moins dans les modèles linéaires simples que nous étudions), la dérivée de f est donc bornée et on a alors :

$$v(t) = x'(t) = \frac{X_m}{\tau} f'\left(\frac{t}{\tau}\right)$$

On obtient alors :

$$v(t) \approx \frac{X_m}{\tau}$$

L'accélération s'obtient de la même façon.

Toutes les propriétés du système sont finalement décrites par X_m et τ . On dit alors que ces grandeurs gouvernent le comportement du système.

II Grand ou petit ?

Très souvent, on demande si tel ou tel grandeur est grande ou petite. cela n'a bien évidemment de sens que par rapport à quelque chose d'autre.

Par exemple dire que 1 mm c'est petit, cela n'a pas de sens car $1 \text{ mm} = 10^6 \text{ nm}$. Il faut donc former un nombre sans dimension que l'on compare à 1.

Ce nombre sans dimension peut être formé à partir de grandeur de référence (vitesse du son, longueur d'onde dans le visible...).

Ainsi pour reprendre l'exemple précédent 1 mm est petit à l'échelle humaine qui est de l'ordre du mètre (c'est d'ailleurs cette comparaison que l'on fait implicitement quand on dit que 1 mm est petit). Mais c'est énorme devant l'échelle atomique.

Conclusion : pour savoir si des grandeurs sont grandes ou petites, il faut donc avoir en tête les valeurs des grandeurs de référence : pression atmosphérique, vitesse de la lumière, du son, d'une voiture, longueur d'onde dans le visible... .

Ainsi lors d'une application numérique, cela permet de détecter des absurdités éventuelles et donc de remonter à son erreur ou au moins de signaler au correcteur que le résultat trouvé est aberrant.

1. Sinon le modèle est à revoir

III Nombre de chiffres significatifs

Lorsque l'on donne $a = 1,2$ m, cela signifie $a = 1,2 \pm 0,1$ m. Ainsi lorsque l'on vous donne une série de valeurs numériques on doit donner le résultat avec un nombre de chiffres qui correspond au nombre de chiffres significatifs de la donnée qui en comporte le moins. Généralement 2.

Dans le cas où l'énoncé n'est pas clair sur le nombre de chiffres, on se limitera également à 2 chiffres.

IV Ordres de grandeur

IV.1 Astronomie

1. Les tailles et les distances :
 - a) Rayon de la Terre : $R_T = 6400$ km
 - b) Rayon du Soleil : $R_S = 7.10^5$ km
 - c) Distance Terre-Soleil : $d = 150.10^6$ km (environ 8 min lumière)
 - d) Distance Terre-Lune : $d \approx 380000$ km (environ 1 s lumière)
 - e) Taille du Système Solaire : 12 milliards de kilomètres.
 - f) Taille de la voie lactée : 100000 années-lumière.
 - g) Distance à l'étoile la plus proche : 4 année-lumière (α du Centaure).
2. Les masses :
 - a) Masse de la Terre : $M_T = 6.10^{24}$ kg
 - b) Masse du Soleil : $M_S = 2.10^{30}$ kg
 - c) La masse du système solaire est pratiquement celle du Soleil.
3. Les Durées :
 - a) Âge du Soleil : 5 milliards d'années (il lui reste autant à vivre).
 - b) Âge de l'Univers connu : environ 14 milliards d'année.
 - c) Jour sidéral : 86164 s.
4. les vitesses astronomiques de l'ordre de 1 à 10 km.s^{-1} . Vitesse de libération : 7,8 km.s^{-1}

IV.2 Vie de tous les jours

Dans le désordre, on rappelle que pour passer des km.h^{-1} au m.s^{-1} il faut diviser par 3,6 :

1. Vitesse d'une voiture : 36 m.s^{-1} (sur autoroute)
2. Vitesse du TGV : 80 m.s^{-1} .
3. Estimation d'un temps de chute d'une hauteur h : $\tau = \sqrt{\frac{d}{g}}$ par homogénéité.
4. Vitesse de chute avant impact : $v = \sqrt{gh}$ par homogénéité.
5. Puissance moyenne d'un moteur de voiture : $\mathcal{P} = 40$ kW
6. Puissance d'un homme $\mathcal{P} \approx 100$ W.
7. Coefficient de frottement $f \approx 0,1$

V Ordres de grandeurs en électricité, électronique

1. Résistance en TP : entre 100 Ω et 10 k Ω
2. Capacité en TP : entre 1 nF et 1 μ F
3. Inductance en TP, de l'ordre de 100 mH
4. Courant dangereux pour l'homme à partir de 30 mA
5. Tension domestique : 220 V efficace.
6. Puissance d'un appareil électroménager de l'ordre de 1 kW.
7. Courant max à la sortie d'un AO : 20 – 30 mA.
8. Fréquence de travail en TP autour de 1 kHz.
9. Fréquence du courant domestique : 50 Hz.

VI Ordre de grandeur en électromagnétisme

VI.1 constante

1. Vitesse de la lumière : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$
2. $\mu_0 = 4\pi.10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$
3. $\varepsilon_0 = 8,85.10^{-12} \text{ F.m}^{-1}$
4. charge du proton $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$
5. constante diélectrique de l'eau à basse fréquence $\varepsilon_r = 80$

VI.2 Domaine de longueur d'onde

Voir le cours. Se rappeler au minimum de la fréquence associée à un téléphone portable (autour de 1 GHz(900 MHz, 1800 MHz et 2100 MHz), du wifi (2,4 GHz) et celle d'un four micro-onde (autour de 2 GHz), c'est du wifi!). Essayer d'appeler votre téléphone dans votre four à micro-onde, conclusion ?

VI.3 Valeurs de champ

1. champ magnétique terrestre : 50 μ T
2. champ magnétique d'un appareil à RMN : 1 à 20 T
3. champ magnétique d'une magnétoile (étoile à neutron possédant un champ magnétique : $10^8 10^{11} \text{ T}$
4. champ électrique disruptif dans l'air (apparition d'une étincelle ou un éclair) : $3,6.10^6 \text{ V.m}^{-1}$
5. champ dans une résistance d'un montage de TP : à vous de faire le calcul.
6. Champ électrostatique à la surface de la Terre : $E = 100 \text{ V.m}^{-1}$,
7. champ généré par un portable de $0,1 \text{ V.m}^{-1}$ à 10 V.m^{-1} selon la distance (de zéro à quelques mètres), la technologie (2G, 3G...) et la fréquence d'utilisation.

VII Ordre de grandeur en acoustique

1. Vitesse du son dans l'air : 340 m.s^{-1} , dans l'eau : 1500 m.s^{-1} .
2. domaine audible : 20 Hz à 20 kHz.

Voir aussi les échelles d'intensité sonore en dB (poly de cours).

VIII Ordre de grandeur en thermodynamique

1. $R = 8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ($R = \mathcal{N}_A \times k_B$)
2. Capacité thermique de l'eau liquide : $c = 4,18.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
3. Enthalpie de vaporisation de l'eau : $\Delta h = 2400 \text{ kJ.kg}^{-1}$
4. Température d'ébullition de l'eau sous 1 bar : $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
5. Constante de Boltzmann $k_B = 1,38.10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$.
6. Énergie d'agitation thermique $k_B T$.
7. conductivité thermique d'un isolant : $\lambda = 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (voir aussi les ODG donnés dans le cours)
8. Capacité thermique molaire d'un solide (loi de Dulong et Petit) : $3R$.
9. Température de surface du Soleil $T = 6000 \text{ K}$

IX Ordre de grandeur optique

1. Distance minimale de vision distincte (œil emmétrope) : 25 cm
2. Indice optique de l'eau $n = 1,33$, du verre $n = 1,5$.
3. focale typique d'une lentille de TP : 10 cm
4. Résolution de l'œil environ une minute d'arc (détail de 1 mm à 3 m de distance).
5. longueur d'onde associée au doublet du sodium : $\lambda = 589 \text{ nm}$
6. Revoir les longueurs de cohérence (laser, lampe spectrale, lumière naturelle)
7. Puissance du laser He-Ne : 1 mW .

X Ordre de grandeur en mécanique des fluides

1. Augmentation de la pression hydrostatique dans l'eau : 1 bar tous les 10 m .
2. viscosité de l'eau : $1 \text{ cP} = 1,0.10^{-3} \text{ Pa.s}$
3. Température moyenne de la Terre 15°C

XI Ordre de grandeur en quantique

1. charge du proton : $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$
2. masse du proton (et de neutron) : $m = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$
3. masse de l'électron : $m_e = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$
4. constante de Planck : $h = 6,6.10^{-34} \text{ J.s}$