# Travaux Dirigés de Physique

Charles Tuchendler

MPSI 4 – Lycée Saint-Louis

Année 2019/2020

# Table des matières


TD n° 1 Ordres de grandeur et Dimensions 1

**Exercice n° 1 - Chiffres significatifs** . . . . . . **2**

1. Vitesse de la lumière . . . . . . 2
2. Calcul de volume . . . . . . 2
3. Calcul de périmètre . . . . . . 2

**Exercice n° 2 - Au fait, ça coûte cher de chauffer de l'eau ?** . . . . . . **2**

**Exercice n° 3 - Equations aux dimensions** . . . . . . **2**

**Exercice n° 4 - Que vaut un dyne dans les unités du Système International ?** . . . . . . **3**

**Exercice n° 5 - Vérification d'homogénéité** . . . . . . **3**

**Exercice n° 6 - Vérification de vraisemblance et ordres de grandeur** . . . . . . **3**

**Exercice n° 7 - Analyse dimensionnelle** . . . . . . **4**

**Exercice n° 8 - Adimensionnement** . . . . . . **4**

**Exercice n° 9 - Unités de Planck** . . . . . . **4**

**Exercice n° 10 - Energie d'une explosion nucléaire - *Résolution de problème*** . . . . . . **6**

# TD n° 1

# Ordres de grandeur et Dimensions

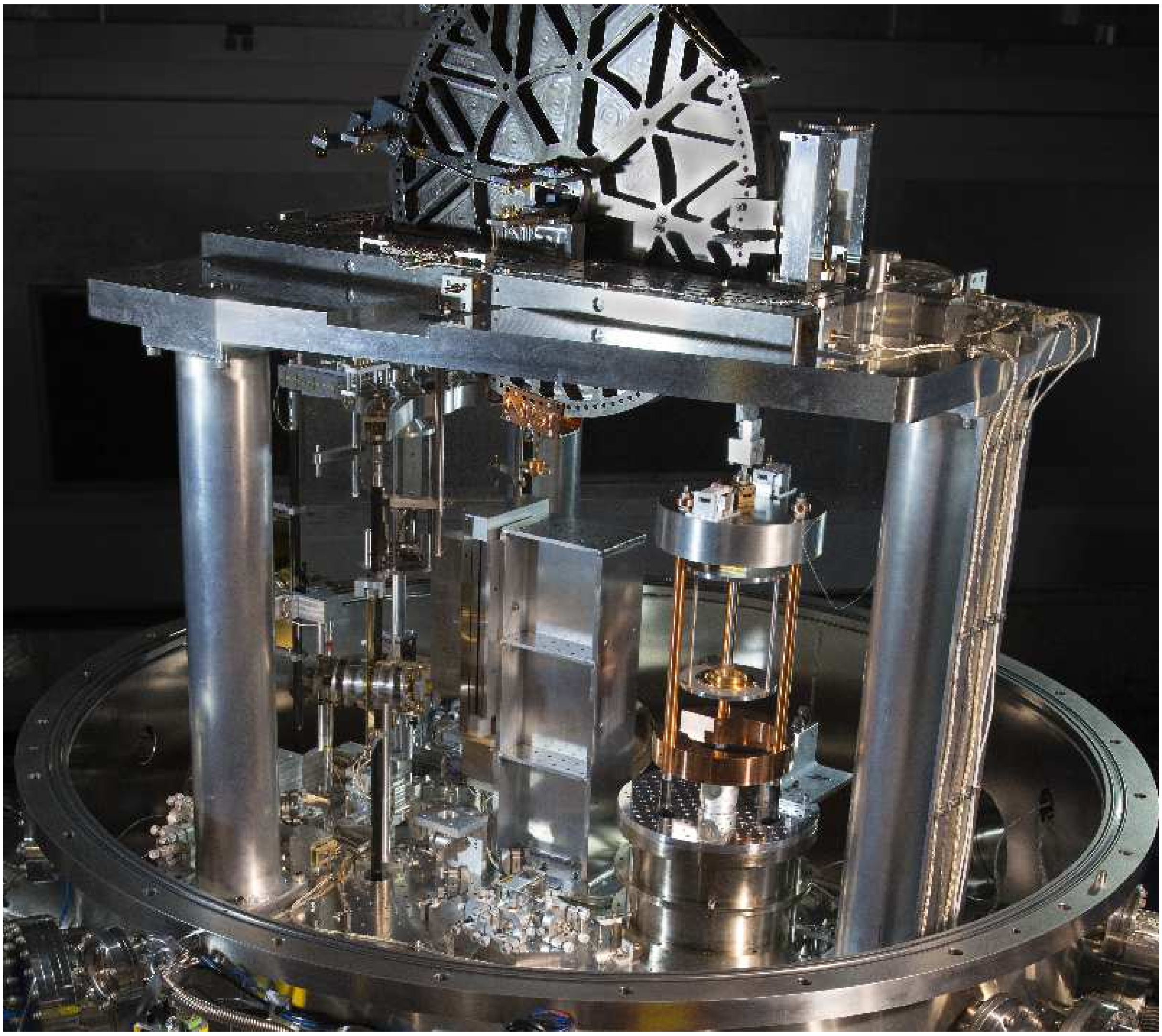


Figure 1.1 – *Balance de Kibble. Un dispositif permettant de réaliser en pratique le kilogramme.*

# Exercice n° 1 - Chiffres significatifs

## 1. Vitesse de la lumière

La valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est fixée à $c = 299\,792\,458\,\mathrm{m\,s^{-1}}$. Exprimer cette valeur un, trois puis cinq chiffres significatifs.

## 2. Calcul de volume

On considère un parallélépipède rectangle dont les côtés mesurent respectivement $L = 1{,}25\,\mathrm{m}$, $\ell = 91\,\mathrm{cm}$ et $H = 3{,}2\,\mathrm{cm}$. Calculer son volume en $\mathrm{m}^3$ en respectant le nombre de chiffres significatifs à utiliser.

## 3. Calcul de périmètre

Soit un triangle dont les côtés ont respectivement pour longueur $a = 1{,}6\,\mathrm{m}$, $b = 43\,\mathrm{cm}$ et $c = 1{,}3\,\mathrm{m}$. Calculer son périmètre en mètre en respectant le nombre de chiffres significatifs.

# Exercice n° 2 - Au fait, ça coûte cher de chauffer de l'eau ?

Sur la facture d'électricité d'un particulier, il est légalement obligatoire d'indiquer la consommation électrique réelle exprimée en kWh (kilowatt-heure). Un appareil électrique de puissance 1 kW consomme ainsi 1 kWh s'il fonctionne de façon permanente pendant 1 heure.

1. Rappeler l'unité SI d'énergie. Que vaut 1 kWh dans cette unité SI ?
2. Sachant que la capacité thermique massique de l'eau liquide est $c = 4{,}18\,\mathrm{kJkg^{-1}K^{-1}}$ et que le prix du kilowatt-heure est de 0,12 €, évaluer le coût du chauffage électrique permettant de faire passer 1 L d'eau liquide d'une température de 20 °C à une température de 100 °C.

# Exercice n° 3 - Equations aux dimensions

1. Établir la dimension de chacune des grandeurs physiques suivantes en fonction des 7 dimensions de base du Système International. Pour les grandeurs inconnues, on cherchera des définitions ou des lois physiques faisant intervenir ces grandeurs sur internet ou dans des ouvrages scientifiques.

   pression, énergie, travail, puissance, résistance, tension électrique, capacité électrique, inductance, masse volumique, volume molaire, capacité thermique, nombre d'Avogadro, densité de particules.

2. Déterminer la dimension de la constante $k$ intervenant dans l'expression de la force d'interaction électrostatique entre deux particules $A$ et $B$ ponctuelles de charges respectives $q_A$ et $q_B$ distantes l'un de l'autre de $r_{AB}$ :

$$\overrightarrow{F}_{A/B} = k\,\frac{q_A q_B}{r_{AB}^2}\,\overrightarrow{u}_{AB}$$

   où $\overrightarrow{u}_{AB}$ est un vecteur unitaire orienté de $A$ vers $B$.

3. Déterminer de même la dimension de la constante de gravitation universelle $G$, sachant que la force d'interaction gravitationnelle entre deux objets ponctuels $A$ et $B$ de masses respectives $m_A$ et $m_B$ distantes de $r_{AB}$ s'écrit :

$$\overrightarrow{F}_{A/B} = -G\,\frac{m_A m_B}{r_{AB}^2}\,\overrightarrow{u}_{AB}$$

   avec toujours $\overrightarrow{u}_{AB}$ un vecteur unitaire orienté de $A$ vers $B$.

4. Déterminer enfin la dimension de la constante de Boltzmann $k_\mathrm{B}$ sachant que les lois de la statique des fluides font intervenir des termes du type :

$$\exp\left(-\frac{mgz}{k_\mathrm{B}T}\right)$$

   où $m$ est une masse, $g$ est la norme de l'accélération de la pesanteur, $z$ l'altitude du système considéré et $T$ la température.

## Exercice n° 4 - Que vaut un dyne dans les unités du Système International ?

1. Établir l'équation aux dimensions correspondant à une force.
2. Le système d'unités dit « CGS » pour centimètre-gramme-seconde est un ancien système d'unités dans lequel l'unité de force est le dyne. Établir la correspondance entre le dyne et le newton.

## Exercice n° 5 - Vérification d'homogénéité

On fournit ci-dessous quatre expressions mathématiques indépendantes faisant intervenir des grandeurs physiques dimensionnées. On ne s'intéresse pas à la justesse mathématique ni même physique de ces expressions mais uniquement à leur vraisemblance en terme d'homogénéité.

Vérifier l'homogénéité de chacune des équations. Pour chaque relation inhomogène, proposer une modification de l'expression afin de rétablir l'homogénéité.

1. $x(t) = \frac{gt}{2} + v_0 t + 1$, où $x(t)$ est l'abscisse à l'instant $t$ d'un mobile lancé rectilignement selon un axe $(Ox)$ avec la vitesse $v_0$ à $t = 0$ dans le champ de pesanteur de norme $g$.
2. $u(t) = Ee^{\frac{-tC}{R}}$, où $u(t)$ est la tension mesurée au cours du temps $t$ aux bornes de l'association en série d'un conducteur ohmique de résistance $R$ et un condensateur de capacité $C$ soumis à une tension $E$.
3. $\frac{RR'}{R+R'}C\frac{dq}{dt} + q = CE$, où cette équation différentielle décrit l'évolution au cours du temps $t$ de la charge $q$ dans un circuit électrocinétique comportant deux résistances $R$ et $R'$ et un condensateur $C$, alimentés par une source idéale de tension $E$.
4. $P(z) = P_0 e^{\frac{-Mgz}{RT}}$, où $P(z)$ est la pression en fonction de l'altitude $z$ d'une atmosphère constituée d'un gaz de masse molaire $M$, en équilibre à la température $T$ dans le champ de pesanteur $\overrightarrow{g}$ supposé uniforme. $R$ est ici la constante des gaz parfaits.

## Exercice n° 6 - Vérification de vraisemblance et ordres de grandeur

Quelle relation vous semble la plus probable d'être juste ?

1. Un corps de masse $m$ et de vitesse initiale $v_0$ est soumis uniquement à une force de frottement visqueux $\vec{F} = -\alpha\vec{v}$. $t$ représente le temps. Sa vitesse est donnée par :
a) $v(t) = v_0 e^{\frac{\alpha t}{m}}$ b) $v(t) = v_0 e^{-\frac{\alpha t}{m}}$ c) $v(t) = v_0 e^{\alpha t}$ d) $v(t) = v_0 e^{-\alpha t}$
2. Un condensateur $C$ initialement déchargé, placé dans un circuit RC, est chargé par générateur en série délivrant une tension $E$. L'évolution de la charge $q$ au cours du temps $t$ est donnée par
a) $q(t) = \frac{E}{R}\left[1 - e^{\frac{t}{RC}}\right]$ b) $q(t) = \frac{E}{C}\left[1 + e^{\frac{-t}{R}}\right]$ c) $q(t) = \frac{E}{R}\left[1 - e^{\frac{t}{R}}\right]$ d) $q(t) = \frac{E}{C}\left[1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right]$

Quel ordre de grandeur vous semble le plus raisonnable ?

3. La masse d'une voiture est de : a) 10 kg b) 100 kg c) 1000 kg d) 10000 kg
4. La taille d'un atome est de : a) $10^{-15}$ m b) $10^{-12}$ m c) $10^{-10}$ m d) $10^{-8}$ m
5. La distance Terre-Lune est de : a) $10^3$ km b) $4 \times 10^6$ km c) $10^7$ m d) $4 \times 10^8$ m
6. La puissance électrique typique d'un appareil électroménager est de :
a) 1 kW b) 10 kW c) 100 kW d) 100 W
7. La vitesse d'un piéton est de : a) 3 m.s$^{-1}$ b) 6 km.h$^{-1}$ c) 15 m.s$^{-1}$ d) 20 km.h$^{-1}$

## Exercice n° 7 - Analyse dimensionnelle

Prévoir à une constante numérique près et à l'aide d'arguments dimensionnels, l'expression des grandeurs physiques suivantes :

1. la période d'oscillation $T$ d'une masse $m$ glissant sans frottement sur un plan horizontal et attachée à l'extrémité d'un ressort de raideur $k$ (on précise que la force exercée par un ressort sur une masse $m$ vaut $\vec{F} = -k\vec{x}$, où $\vec{x}$ est l'écart de longueur à la position au repos).
2. la fréquence $\omega$ des oscillations propres d'un circuit électrique composé d'une capacité $C$ et d'une inductance $L$ (on admettra que l'énergie stockée dans $C$ vaut $\frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$, où $q$ est la charge accumulée sur une armature du condensateur, et que l'énergie stockée dans la bobine s'écrit $\frac{1}{2}LI^2$, où $I$ est le courant électrique).
3. la vitesse de chute libre $v$ d'un corps de masse $m$ sans vitesse initiale après une hauteur $H$ de chute, sous l'action de la gravité $g$.
4. la vitesse de propagation $v$ d'une vague en eaux peu profondes (profondeur $h$).

## Exercice n° 8 - Adimensionnement

On étudie ici la chute verticale sans vitesse initiale depuis une hauteur $H$ d'un objet soumis uniquement à son poids dans le champ de pesanteur $\overrightarrow{g} = -g\overrightarrow{u_z}$ et à une force de frottement fluide donnée par $\overrightarrow{f} = -\lambda\overrightarrow{v}$. $\lambda$ correspond ici à un coefficient de frottement ($\lambda > 0$) tandis que $\overrightarrow{v} = v\overrightarrow{u_z}$ correspond au vecteur vitesse de l'objet avec $\overrightarrow{u_z}$ un vecteur unitaire dirigé selon la verticale ascendante.

1. Déterminer la dimension du coefficient de frottement $\lambda$ puis donner son unité dans le système international.
2. Appliquer la loi de la quantité de mouvement pour établir l'équation différentielle vérifiée par la vitesse $v$ de l'objet dans le référentiel terrestre supposé galiléen.
3. Adimensionner l'équation différentielle précédente en posant $v = v_c\alpha$ et $t = t_c\beta$. On exprimera $v_c$ et $t_c$ de manière à s'assurer que l'ensemble des coefficients de l'équation différentielle sont égaux à 1.
   Que remarquez-vous ?
4. Résoudre numériquement cette équation et représenter la solution $\alpha(\beta)$.
5. Interpréter cette courbe et conclure sur l'intérêt de l'adimensionnement.

## Exercice n° 9 - Unités de Planck

Dans la théorie du Big Bang, communément admise aujourd'hui comme la théorie la plus vraisemblable pour représenter l'évolution cosmologique de l'Univers jusqu'à son état actuel, l'ensemble de l'énergie est concentrée dans un volume extrêmement petit. A ces échelles, la relativité générale ne suffit pas à décrire correctement les propriétés de "l'atome primitif". Il est nécessaire de faire appel à la théorie quantique.

Un problème bien connu des physiciens remonte alors à la surface : les deux théorie sont incompatibles et les théoriciens ont à ce jour échouer à formuler une théorie d'unification englobant relativité générale et mécanique quantique.

Dans le cadre de la théorie du Big Bang, on traduit cette incompatibilité par ce qu'on appelle "le mur de Planck", un domaine de l'espace-temps où les lois actuelles de la physique sont inapplicables.

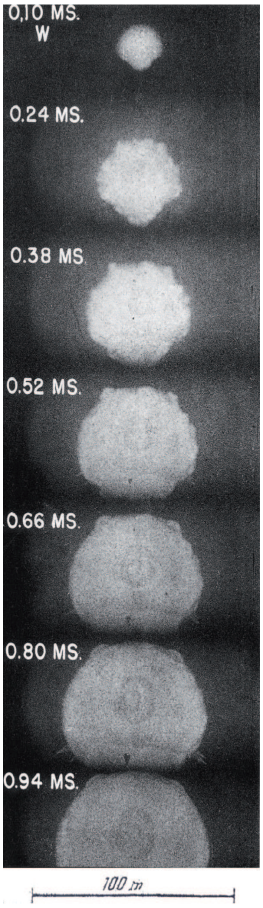
Les ordres de grandeur correspondant au mur de Planck peuvent être obtenus à partir d'un système d'unités, défini par Planck, formé à partir des constantes fondamentales des deux théories : quantique et relativiste.

1. A partir de ces constantes fondamentales, construire l'unité appelée "temps de Planck".
   Quel signification pouvez-vous donnez au temps de Planck ?
2. Faire de même pour la "longueur de Planck", "la masse de Planck" et "l'énergie de Planck".
3. Déterminer les ordres de grandeurs de chacune des grandeurs précédentes.
   Commenter ces résultats.

| **Nom** | **Symbole** | **Dimension** |
|---|---|---|
| Constante gravitationnelle universelle | $G$ | $\mathrm{M}^{-1}\mathrm{L}^{3}\mathrm{T}^{-2}$ |
| Constante de Planck réduite | $\hbar = h/2\pi$ | $\mathrm{M}\mathrm{L}^{2}\mathrm{T}^{-1}$ |
| Vitesse de lumière | $c$ | $\mathrm{L}\mathrm{T}^{-1}$ |
| Constante de Boltzmann | $k_{\mathrm{B}}$ | $\mathrm{M}\mathrm{L}^{2}\mathrm{T}^{-2}\theta^{-1}$ |
| Permittivité diélectrique du vide | $\epsilon_0$ | $\mathrm{M}^{-1}\mathrm{L}^{-3}\mathrm{T}^{4}\mathrm{I}^{2}$ |

## Exercice n° 10 - Energie d'une explosion nucléaire - *Résolution de problème*

En 1947, suite à la publication de photos montrant l'évolution du nuage atomique d'un des premiers tirs de bombe nucléaire américaine, G.I. Taylor, physicien anglais, détermine la valeur de l'énergie de la bombe nucléaire, donnée évidemment classée top secret par l'armée américaine. La légende veut que Taylor ait uniquement mené son raisonnement par analyse dimensionnelle, et nous allons essayer de reproduire son raisonnement.




Quand une bombe explose, il se forme une onde de choc dont le rayon croit avec le temps. L'idée de Taylor, d'après la légende, est de déterminer la variation de ce rayon en fonction des paramètres physiques liés à la bombe. La figure ci-contre montre 7 clichés du nuage atomique pris à des instants différents.

A la grande surprise de la CIA, Taylor a su en déduire la valeur de l'énergie de la bombe nucléaire uniquement à partir de ces données. Pour indication, cette bombe était de 18 kiloton de TNT (1 tonne de TNT correspond à environ $4.10^9$ J).

☞ Arrivez-vous à retrouver un ordre de grandeur similaire ?

| log(t) | log(R) | log(t) | log(R) |
|---|---|---|---|
| -3.619 | 1.296 | -3.180 | 1.508 |
| -3.420 | 1.406 | -3.097 | 1.549 |
| -3.283 | 1.471 | -3.027 | 1.577 |