

TD GM Grandeurs mesurables

Pour chaque exercice, il faut :

- isoler la grandeur qui nous intéresse,
- passer aux dimensions ou aux unités, selon ce qui est demandé.

Exercice 1. Attraction gravitationnelle.

La loi d'attraction universelle donne l'expression de la norme de la force d'attraction gravitationnelle entre deux corps de masse m et m' distants de r : $F = \frac{Gmm'}{r^2}$

Déterminer l'unité de la constante de gravitation G dans le système international.

Exercice 2. Force de frottement fluide.

1.) La relation de Stokes $f = 6\pi\eta.v.r$ donne l'expression de la force de frottement s'exerçant sur une sphère de rayon r qui se déplace à la vitesse v dans un fluide de coefficient de viscosité η .

Donner l'unité S.I. de η .

2.) La vitesse limite de cette sphère de masse volumique μ tombant dans un fluide de masse volumique μ' est $v = \frac{r^2(\mu-\mu')g}{9\eta}$, où g est l'accélération de la pesanteur qui apparaît dans le poids.

Vérifier l'homogénéité de cette relation.

Exercice 3. Résistance de l'air

La force de résistance de l'air (de masse volumique ρ) exercée sur un corps de section de surface S et de vitesse v s'écrit : $F = k\rho^\alpha v^\beta S^\lambda$ où α , β et λ sont des entiers naturels et k une constante sans dimension.

Déterminer α , β et λ sachant que la formule donnée est homogène.

Exercice 4. Equation de Van Der Waals.

Elle relie la pression P , la température T , la quantité de matière n et le volume V d'un gaz :

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right) \cdot (V - nb) = n \cdot R \cdot T \text{ où } a, b \text{ et } R \text{ sont des constantes.}$$

1.) Donner les dimensions de a , b et R .

2.) On donne $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$. Justifier l'unité.

Redéfinition du kilogramme : vers une dématérialisation complète

<https://www.lne.fr/fr/comprendre/systeme-international-unites/kilogramme>

Depuis 1889 la définition de l'unité de masse était réalisée par un cylindre de platine iridié conservé au Bureau international des poids et mesures (BIPM), à Sèvres. L'IPK (*international prototype of kilogram*) est gardé en sécurité, dans un caveau, sous trois cloches de verre : sa masse est par définition exactement égale à 1 kg. Mais cet artefact matériel disponible que dans un seul lieu, n'est pas stable dans le temps car non lié à un invariant de la nature. En effet, au cours des quatre comparaisons effectuées en un siècle et demi, on a noté des incohérences entre la masse de l'IPK et des autres prototypes, de forme et de composition quasi-identiques. Des prototypes qui incluent des « copies officielles », issues de la même coulée que l'IPK (réalisée de 1882 à 1889) et stockées dans les mêmes conditions que l'IPK ; et des « prototypes nationaux », attribués à la plupart des pays pour servir d'étalons nationaux de masse. Les comparaisons effectuées ont révélé que la masse du prototype de référence a varié d'environ 50 microgrammes par rapport à celle des autres prototypes et qu'il ne permet plus aujourd'hui une mesure certaine des masses.

Outre le problème d'un étalon de masse inconstant, cette dérive se propage par ailleurs à d'autres unités (newton, joule, watt...) définies à partir du kilogramme. Pour s'affranchir de ces limites et de ces écueils, le Comité international des poids et mesures (CIPM) a recommandé, en 2005, de redéfinir le kilogramme à partir d'une constante fondamentale de la nature : la constante de Planck (h), à la fois immatérielle, stable et universelle.

Le kilogramme, kg, est l'unité de masse; sa valeur est définie en fixant la valeur numérique de la constante de Planck à exactement $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ quand elle est exprimée en $s^{-1}\ m^2\ kg$, ce qui correspond à des J s

« Pourquoi avoir choisi la constante de Planck pour redéfinir le kilogramme ? »

Pour mesurer la constante de Planck, les chercheurs du LNE ont utilisé une balance du watt (ou de Kibble) qui permet de comparer des puissances électrique et mécanique. Son principe : une balance dont l'un des bras supporte une masse et dont l'autre est relié à une bobine placée dans un champ magnétique. Par une mesure en deux temps, il est alors possible de relier cette masse, exprimée en kilogramme, à une tension aux bornes de la bobine et un courant y circulant. Le lien avec la constante de Planck se fait via des phénomènes quantiques (les effets Josephson et Hall quantique) impliquant cette tension et ce courant.

En 2016, plusieurs laboratoires impliqués dans la redéfinition du kilogramme ont comparé avec un soin inégalé leur étalon de masse avec celui conservé au BIPM, préalable indispensable à une mesure de précision de la constante de Planck. Au LNE, après des années d'études et de développements, une campagne de mesures ininterrompue d'une trentaine de jours a ensuite été menée entre février et mars 2017, de quoi produire une valeur de h avec une incertitude relative de $5,7 \cdot 10^{-8}$. Aux côtés des équipes canadienne et américaine, le LNE fait ainsi partie des trois laboratoires à avoir fourni une valeur de la constante de Planck au moyen d'une balance de Kibble avec une incertitude conforme aux prescriptions du CIPM (Comité international des poids et mesures) pour la redéfinition du kilogramme.

Une fois la nouvelle définition du kilogramme entérinée, la balance du watt du LNE permettra d'étalonner n'importe quelle masse sans recours à un artefact matériel, via la mesure inverse à celle réalisée pour mesurer h . L'IPK ne sera alors plus qu'une curiosité historique, et le kilogramme fondé sur un étalon réellement universel.