
Journées Physique-Chimie UdPPC Orléans-Tours

Problèmes de Fermi

Charles de IZARRA
Professeur des universités
INSA Centre Val de Loire
Campus de Bourges

Bourges, 18 & 19 avril 2018

INSA Centre Val de Loire
rue Campus de Bourges
88, boulevard Lahitolle
18000 Bourges
France

Les ordres de grandeurs fréquemment utilisés dans les sciences permettent de répondre à des questions qui peuvent paraître insolites telles que : Combien de personnes ont vécu sur Terre depuis 1 million d'années ? Combien de litres d'essence sont consommées par les automobiles en France chaque jour ? Combien possède-t-on d'atomes ayant appartenu à Cléopâtre ? Ces questions, connues sous le nom de « problèmes de Fermi » peuvent être résolues assez facilement avec peu de données de base.

Les données de base

Encadrement d'une grandeur entre deux valeurs estimées.

On cherche une valeur V que l'on évalue située entre deux valeurs V_1 et V_2 , avec $V_2 > V_1$. On veut que V soit tel que $V = \alpha V_1$ et que $V_2 = \alpha V$. Ceci conduit à calculer V selon la moyenne géométrique de V_1 et de V_2 .

$$V = \sqrt{V_1 V_2}.$$

Exemple 1 Quel est le volume typique d'un réservoir de voiture ? On l'estime entre 10 litres et 100 litres. La valeur calculée est $V = \sqrt{1000}$ soit 34 litres.

Exemple 2 Quelle est la masse d'un cheval ? On l'estime à plus de 300 kg et moins de 2000 kg. Alors $V = \sqrt{600000}$ soit 770 kg.

Quelques données utiles

- Rayon de la Terre = 6400 km.
- Distance Terre-Soleil = 150 millions de km.
- Taille d'un atome = 10^{-10} m.
- 1 eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ J.
- Pression atmosphérique normale = 10^5 Pa.
- 1 année = $3 \cdot 10^7$ s.
- Masse volumique de l'air (conditions normale) = 1.29 kg/m^3 .
- Énergie de réaction $C + O_2 \rightarrow CO_2 = 1.5 \text{ eV}$.
- Énergie de réaction fission noyau $^{235}\text{U} = 200 \text{ MeV}$.
- Masse molaire du $^{12}\text{C} = 12 \text{ g}$.
- Nombre d'Avogadro = $6 \cdot 10^{23}$.

Formules de base

- Travail = Force \times longueur
- Énergie = Puissance \times Durée
- Variation d'énergie cinétique = Travail des forces appliquées.
- Pression = Force/Surface.

Problème N°1.

Quelle est la masse de l'atmosphère terrestre ?

$$M = 5.15 \cdot 10^{18} \text{ kg}$$

Problème N°2.

Quelle est la masse de la Terre ?

$$M = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Problème N°3.

Chaque fois que vous respirez, combien inhalez-vous de molécules du dernier souffle d'Alexandre le Grand ?

Utiliser la masse de l'atmosphère terrestre.

Problème N°4.

Évaluer la consommation journalière en eau pour une personne, en France.

Entre 137 litres et 150 litres.

Problème N°5.

Quelle est la consommation annuelle d'une centrale électrique à charbon de 1 GW ? (1 GW est la puissance typique d'un réacteur nucléaire).

Considérer l'énergie de la réaction $C + O_2 \rightarrow CO_2$.

Problème N°6.

Évaluer l'énergie contenue dans 1 litre d'essence.

L'essence est modélisée par CH_2 .

Problème N°7.

Quelle est la surface totale d'une serviette de bain ?

Tenir compte des bouclettes de chaque côté de la serviette.

Problème N°8.

Évaluer le volume d'eau contenue dans les océans sur la Terre.

$V = 1340 \text{ millions de km}^3$

Problème N°9.

Comparer le coût d'un séchage des mains avec des serviettes en papier et un sèche mains électrique. Application à une aire d'autoroute.

En France, 1 kWh coûte 0.1 €.

Problème N°10.

Le département du Cher compte 300 communes. Évaluer la distance moyenne entre deux communes.

De l'ordre de 5 km.

Problème N°11.

Évaluer la longueur de la piste d'un Compact Disc (CD) de 700 MB de capacité.

De l'ordre de 6 km.

Problème N°12.

Évaluer la puissance moyenne d'un être humain adulte.

$P = 100 \text{ W}$

Problème N°13.

Évaluer le nombre de voitures dans le parc automobile français.

Au 1^{er} janvier 2017, 40 millions de véhicules.

Problème N°14.

Quand vous roulez en voiture, quelle épaisseur de gomme de vos pneus laissez vous sur la route à chaque tour de roue ?

De l'ordre de la moitié de la taille d'une molécule de caoutchouc.