

2. Force électrostatique – forte ou faible? Un Coulomb

- Quel est l'ordre de grandeur de la force avec laquelle se repoussent deux charges de un Coulomb à une distance d'un mètre?
- Montrez d'abord, pour cette question (et pour un usage futur), l'approximation $4\pi \cdot \epsilon_0 \approx 10^{-10} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ (raisonnement approximatif)
- Vérifiez les unités dans votre résultat (raisonnement dimensionnel).
- Finalement, est-ce que la force en question est petite ou grande? Trouvez une comparaison illustrative!

Solution :

a, b, c) La force de Coulomb est

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$$

Ici, $4\pi \cdot \epsilon_0 = 4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \approx 10^{-10} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ avec $4\pi \cdot 8,85 \approx 100$; à noter que la combinaison $4\pi \cdot \epsilon_0$ est beaucoup plus facile à retenir que la constante électrique ϵ_0 seule. L'insertion des valeurs numériques donne

$$F_C = \frac{1\text{C}^2}{4\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} (\text{C}^2 / \text{Nm}^2) \cdot 1\text{m}^2} \approx \frac{1\text{C}^2}{10^{-10} (\text{C}^2 / \text{Nm}^2) \cdot 1\text{m}^2} = 10^{10} \text{ N}$$

Unités: Les C^2 se réduisent, ainsi que les m^2 ; reste $1/(1/\text{N}) = \text{N}$ ce qui est une unité de force comme attendu.

d) Est-ce grand ou petit? Cela peut se décider seulement par comparaison avec une autre force. On peut se demander p. ex. quelle masse exercerait une force gravitationnelle de la valeur trouvée. Comme la force de pesanteur est $F_G = m \cdot g$, donc $m = F_G/g$. L'insertion des valeurs numériques donne (pour l'ordre de grandeur, on prend $g \approx 10 \text{ m/s}^2$) $m \approx 10^{10} \text{ N}/(10 \text{ m/s}^2)$ donc $m = 10^9 \text{ kg}$, ce qui fait un milliard de Kilogrammes, ou un million de tonnes ; c'est p. ex. la masse d'un million de voitures. C'est-à-dire, deux charges d'un Coulomb à une distance d'un mètre se repoussent avec la même force avec laquelle un million de voitures est attiré par la terre – cette force n'est pas seulement grande, elle est gigantesque.

Commentaires¹

Du point de vue didactique, les caractéristiques suivantes peuvent être mentionnées :

La comparaison illustrative (de la valeur trouvée) a plusieurs fonctions importantes qui en font un élément essentiel de la transposition didactique².

- Dans la formation des enseignants, c'est un très bon exercice pour « faire parler les chiffres », restant trop souvent muets pour une grande partie des élèves. L'exemple montre, que « illustration » peut impliquer deux aspects, à savoir une comparaison aussi familière que possible aussi bien par sa *nature* (ici avec la pesanteur) que par les *valeurs* utilisées (ici 1 million de voitures)
- Dans l'enseignement scolaire, c'est une activation cognitive supplémentaire, demandant aussi de la créativité de la part des élèves. Au delà de repenser le problème et de l'illustrer par soi-même, le côté « fantaisie » ou « jeu » peut être un facteur de motivation.

Un autre facteur mérite une discussion un peu approfondie:

c) Contrairement à ce qu'on dit parfois, savoir (et donc apprendre !) par cœur a une valeur considérable aussi en science. Il y a ici plusieurs aspects :

- Les constantes naturelles (et quelques unes de leurs combinaisons) : e , c , h , k_B etc. Elles sont extrêmement utiles pour des considérations d'existence, d'ordre de grandeur, de dimension, et de raisonnements semblables. Par exemple, d'autres questions liées au champ de Coulomb sont traitées ailleurs dans cette collection (atome H : champ électrique ; noyau He : force de répulsion entre les protons) C'est comme un « vocabulaire de base », dont la connaissance par cœur est indispensable pour l'appropriation d'une langue étrangère.
- Pour l'exemple en question, l'approximation $4\pi \cdot \epsilon_0 \approx 10^{-10} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ est bien plus facile à retenir que la valeur « brute » de ϵ_0 . L'exemple montre donc, que du moins pour l'enseignement scolaire, il peut y avoir des « astuces » didactiques qui facilitent même l'apprentissage de ce vocabulaire de base.
- Un choix assez restreint des quelques constantes mathématiques (π , e = nombre d'Euler, $\sqrt{2}$, $\ln 2$, $\ln 10$, ...), des propriétés de quelques matériaux (de l'eau et de certains métaux par exemple), et des quelques formules physiques et mathématiques (et d'autres éléments du savoir professionnel) – dans le sens évoqué en haut – une sorte de « vocabulaire élargi », dont la connaissance permet la solution des questions assez compliquées par calcul mental et d'une façon rapide.

¹ Un commentaire est, le cas échéant, répété pour des exercices Fermi différents, pour le rendre compréhensible à un lecteur qui n'aurait pas lu les autres exemples.

² Cf. par exemple aussi l'exercice « Est-ce qu'on peut voir la grande Muraille de Chine à partir de la lune? »

Une série d'exemples basés uniquement sur les constantes naturelles et traitant une vaste gamme de questions (p. ex. reliant la taille des gouttes d'eau, des montagnes des étoiles à des constantes atomiques) a été proposée par V. Weisskopf [1]. Feynman, dans son fameux livre "Surely you're joking, Mr. Feynman" donne d'autres très jolis exemples, par exemple pour le calcul mental de \sqrt{x} , e^x et d'autres fonctions ([2], ch. «Lucky Numbers »).

Un autre exemple très proche de la science est la médecine. Dans les examens aussi bien que dans la pratique quotidienne, une connaissance par cœur des données assez vaste joue un rôle important (processus diagnostiques différentiels ; thérapies, médicaments alternatifs, etc.), et est considérée comme partie essentielle de l'expertise professionnelle. Le manuel standard pour devenir spécialiste en gastroentérologie p. ex. contient des douzaines de tables (symptômes, valeurs numériques, etc.), qui sont effectivement censées être présentes pour l'examen et le travail.

Ces exemples montrent, qu'un « savoir par cœur » adéquat fait partie de la culture scientifique (« scientific literacy ») et aussi de la nature des sciences (« Nature of Science », NOS), contrairement à sa réputation négative, anti-intellectuelle. Mais cela est vrai *uniquement* si ce savoir et son enseignement sont accompagnés d'une compréhension du sens et de l'utilisation qui lui sont propres. C'est cette condition qui court risque d'être oubliée et qui souvent n'a pas été prise en compte dans l'enseignement du passé, en engendrant ainsi la mauvaise réputation de l'apprentissage par cœur. Cette condition est absolument essentielle pour l'apprenant, et c'est seulement au fur et au mesure que l'expertise se forme dans un domaine donné, que donner de des tels exemples devient moins important, car la capacité et l'habitude de se les construire par soi-même deviennent une partie de la compétence professionnelle.

Sources

[1] V. Weisskopf, *Science* 187 (1975) 605; *Am. J. Phys.* 53 (1985) 19 und 54 (1986) 110.

[2] *Surely You're Joking, Mr. Feynman! Adventures of a Curious Character*. R. Feynman (Bantam Books, New York, 1985)

Problème de Fermi proposé par le prof. A. Mueller dans le cadre de Expériment@l de la
Faculté des Sciences de l'Université de Genève
<http://experimental.unige.ch/>