

Approfondissement

Interactions fondamentales et champs

Charges alignées, Millikan, pendules jumeaux, masse de la Terre, neutralité, tri des plastiques

6 exercices · niveau ●●● · durée conseillée : 3 h · calculatrice autorisée

Exercice 1 Force résultante de charges alignées

●●●

Deux charges ponctuelles fixes $q_A = 4,0 \text{ nC}$ et $q_B = 1,0 \text{ nC}$ sont placées sur un axe (Ox), aux abscisses $x_A = 0$ et $x_B = 0,30 \text{ m}$. Une troisième charge $q_0 = 1,0 \text{ nC}$, placée sur l'axe à l'abscisse x (avec $0 < x < 0,30 \text{ m}$), subit une force résultante portée par l'axe ; la fonction force renvoie sa coordonnée F_x .

```

1 k = 9.0e9
2 charges = [(0.00, 4.0e-9), (0.30, 1.0e-9)]
3 q0 = 1.0e-9
4 def force(x):
5     F = 0
6     for (xi, qi) in charges:
7         d = x - xi
8         F = F + k * qi * q0 / d**2 * (d / abs(d))
9     return F
10 x = 0.005
11 while force(x) > 0:
12     x = x + 0.01
13 print(round(x, 3))

```

1.1 Que vaut $d / \text{abs}(d)$ selon la position de q_0 par rapport à la charge d'abscisse x_i ? Justifier la ligne 8 à l'aide de la forme vectorielle de la loi de Coulomb.

1.2 Calculer à la main $\text{force}(0.10)$ et interpréter son signe.

1.3 Le programme affiche 0.205. Qu'en déduit-on ?

1.4 Déterminer par le calcul la position exacte x_E de l'équilibre.

1.5 La charge q_0 est légèrement écartée de x_E vers B, en restant sur l'axe. Quel est le sens de la force résultante ? L'équilibre est-il stable le long de l'axe ?

1.6 On ajoute une charge $q_C = -2,0 \text{ nC}$ en $x_C = 0,50 \text{ m}$. Modifier une seule ligne du programme pour en tenir compte, puis calculer la nouvelle valeur de $\text{force}(0.10)$.

Exercice 2 À la manière de Millikan : la charge est quantifiée

●●●

Entre deux plaques horizontales distantes de $d = 1,5 \text{ cm}$, on observe au microscope des gouttelettes d'huile électrisées négativement. On ajuste la tension U entre les plaques jusqu'à ce qu'une gouttelette reste immobile.

■ **DONNÉES** $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ • $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$

2.1 Quelle plaque doit être reliée à la borne + ? Justifier.

2.2 Une gouttelette de masse $m = 3,3 \times 10^{-15} \text{ kg}$ est immobile pour $U = 1\,520 \text{ V}$. Montrer que la valeur absolue de sa charge est $|q| = 3,19 \times 10^{-19} \text{ C}$.

2.3 En répétant l'expérience avec d'autres gouttelettes, on obtient les valeurs absolues suivantes des charges (en 10^{-19} C) : 3,19 ; 8,03 ; 4,81 ; 11,17 ; 6,42. Sans utiliser la valeur de e donnée, montrer que ces charges sont toutes des multiples entiers d'une même charge, dont on donnera une estimation. Pourquoi la plus petite valeur mesurée n'est-elle pas cette charge ?

Exercice 3 Deux pendules jumeaux



Deux petites boules identiques, de masse $m = 0,20 \text{ g}$, sont suspendues au même point O par deux fils isolants de longueur $L = 50 \text{ cm}$. On leur donne la même charge q : elles s'écartent, et à l'équilibre chaque fil fait l'angle $\alpha = 10^\circ$ avec la verticale (figure 1). Chaque boule est assimilée à une charge ponctuelle.

■ **DONNÉES** $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ • $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$ • $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$

- 3.1 Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur la boule B_2 et les représenter sans souci d'échelle.
- 3.2 Calculer la distance d entre les boules.
- 3.3 En exploitant le principe d'inertie (somme des forces nulle) et un triangle rectangle, montrer que la force électrostatique a pour valeur $F = m g \tan \alpha$. Calculer F .
- 3.4 En déduire la valeur absolue de q et le nombre d'électrons transférés à chaque boule. Peut-on connaître le signe de q ?

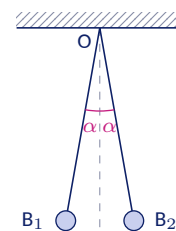


Figure 1 — Les pendules à l'équilibre

Exercice 4 Peser la Terre



Au niveau de la mer, à la latitude de 45° , on mesure $g_0 = 9,81 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$. On confond g_0 avec le champ de gravitation au sol ; la masse de la Terre est ici supposée inconnue.

■ **DONNÉES** $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ • rayon de la Terre $R_T = 6\,371 \text{ km}$

- 4.1 En déduire la masse de la Terre (c'est ainsi qu'on l'a « pesée » après la mesure de G par Cavendish).
- 4.2 Calculer la masse volumique moyenne de la Terre. Les roches de la croûte terrestre ont une masse volumique d'environ $2,7 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Que peut-on en conclure sur l'intérieur de la Terre ?
- 4.3 Calculer la valeur du champ de gravitation au sommet de l'Everest (altitude $8\,849 \text{ m}$) et sa variation relative par rapport au niveau de la mer.

Exercice 5 Pourquoi la gravitation gouverne-t-elle le ciel ?



On imagine que la Terre et la Lune portent chacune une même charge Q positive.

■ **DONNÉES** $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ • $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$ • $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-2}$ • Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ • Lune : $M_L = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$

- 5.1 Déterminer la valeur de Q pour laquelle la répulsion électrostatique compenserait exactement l'attraction gravitationnelle entre les deux astres. Ce résultat dépend-il de la distance D ?
- 5.2 À combien d'électrons manquants cette charge correspond-elle ? La Terre contient environ $1,8 \times 10^{51}$ protons : quelle fraction infime de ses électrons faudrait-il retirer ?
- 5.3 Conclure : pourquoi l'interaction électrostatique, beaucoup plus intense à l'échelle atomique, ne joue-t-elle aucun rôle dans le mouvement des astres ?

Exercice 6 Le tri électrostatique des plastiques



Un mélange de PVC et de PET broyé en paillettes est électrisé par frottement : le PVC se charge négativement, le PET positivement. Les paillettes tombent ensuite, sans vitesse initiale, au milieu de deux grandes plaques verticales distantes de 60 cm , soumises à la tension $U = 90 \text{ kV}$; la plaque de gauche est reliée à la borne +. Une paillette de PVC a une masse $m = 2,0 \text{ mg}$ et porte la charge $q = -5,0 \times 10^{-11} \text{ C}$. On néglige l'action de l'air.

■ **DONNÉES** $g = 9,8 \text{ N}\cdot\text{kg}^{-1}$

- 6.1 Calculer la valeur du champ entre les plaques, puis celles de la force électrostatique et du poids de la paillette.
- 6.2 Représenter ces deux forces et leur somme avec l'échelle $1 \text{ cm} \leftrightarrow 5,0 \times 10^{-6} \text{ N}$. Déterminer l'angle θ entre cette somme et la verticale.

- 6.3** On admet (pour aller plus loin) qu'une paillette lâchée sans vitesse se déplace en ligne droite dans la direction de la somme des forces. De quelle distance, et de quel côté, une paillette de PVC s'est-elle écartée de la verticale après une chute de 60 cm ? Atteint-elle une plaque ? Expliquer comment ce dispositif sépare les deux plastiques.