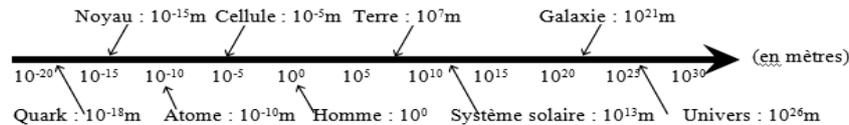


Chapitre 1- Interactions et cohésion de la matière

I. Constituants de la matière

1. La matière à différentes échelles



Les résultats de collisions entre particules dans les accélérateurs de particules ont démontré l'existence des quarks dans les protons et les neutrons.

2. Les particules élémentaires

Les protons, neutrons et électrons sont les « briques élémentaires » de la matière.

- **Neutrons et protons**, considérés comme élémentaires même s'ils sont constitués de quarks, forment le noyau des atomes. On les appelle donc des nucléons.

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Masse du proton : $1,673 \cdot 10^{-27}$ kg Charge du proton : $e = + 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

Masse du neutron : $1,675 \cdot 10^{-27}$ kg Charge du neutron : 0 C

- **Électrons**

Masse : $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg Charge : $- e = - 1,6 \cdot 10^{-19}$ C

II. Interactions fondamentales

Il existe 4 interactions fondamentales qui assurent la cohésion de la matière :

- au niveau du noyau : interactions forte et faible,
- à l'échelle de l'atome jusqu'à celle de l'homme : l'interaction électromagnétique,
- de l'échelle de l'homme à l'échelle de l'univers : l'interaction gravitationnelle.

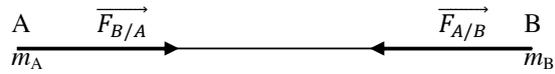
1. Interaction gravitationnelle

Loi de l'attraction gravitationnelle de Newton

Entre deux corps ponctuels A et B, de masses respectives m_A et m_B , séparés par une distance d , il existe une interaction, modélisée par des forces d'attraction gravitationnelle $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ dont les caractéristiques sont les suivantes :

- direction : direction de la droite (AB),
- sens : vers le centre attracteur, A pour $\vec{F}_{A/B}$ et B pour $\vec{F}_{B/A}$. La notation $\vec{F}_{A/B}$ se lit « force F exercée par A sur B ».
- norme : $F_{A/B} = F_{B/A} = G \frac{m_A \cdot m_B}{d^2}$ avec m_A et m_B en kilogramme (kg), d en mètres (m) et F en newton (N).

G est la constante de gravitation qui vaut $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$



Remarques importantes

Cette interaction est toujours **attractive**, elle est de portée infinie.

Cette loi se généralise pour les corps non ponctuels qui ont une **symétrie sphérique**.

2. Interaction électromagnétique

L'interaction électromagnétique s'exerce entre deux corps chargés électriquement. Elle est à la fois de nature électrique et magnétique.

Si les deux charges sont immobiles, on parle d'interaction électrostatique. Celle-ci est décrite par la loi de Coulomb.

a. Électrisation d'un corps

L'électrisation est un phénomène macroscopique.

Électriser un objet consiste :

- soit à lui apporter ou lui arracher des **électrons** par **frottement**, par **contact** ou par **influence**,
- soit à provoquer un déplacement interne de charges électriques.

Convention :

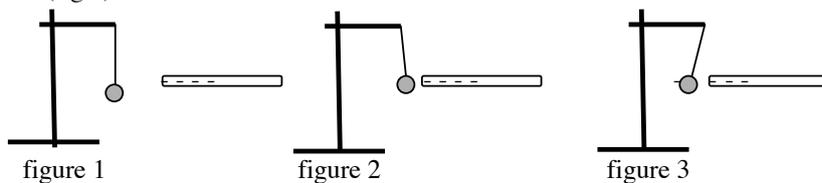
Du PVC (ou de l'ébonite) frotté avec de la laine est chargé négativement (des électrons ont été arrachés à la laine).

Du verre frotté avec de la laine est chargé positivement (des électrons ont été arrachés au verre).

Exemples d'électrisation :

On frotte une baguette de PVC avec de la laine : la baguette est électrisée par frottement.

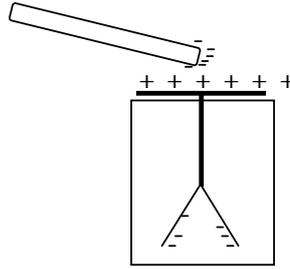
On approche cette baguette d'une boule de papier d'aluminium suspendue à une potence (fig 1) :



Puis on approche la tige chargée de la boule de métal jusqu'au contact (fig. 2). Les charges négatives se répartissent sur la boule et la tige : il y a eu électrisation par contact.

Enfin la boule et la tige portent des charges de même signe : il y a répulsion (fig. 3)

Électroscope :



Lorsqu'on approche une tige chargée négativement du plateau métallique de l'électroscope, les électrons contenus dans le plateau sont repoussés au plus loin de la tige dans les deux aiguilles de l'électroscope. Ces deux aiguilles étant chargées négativement, elles se repoussent l'une l'autre et s'écartent. Il y a eu électrisation par influence.

b. Interaction coulombienne

Loi de Coulomb

Entre deux corps ponctuels A et B portant les charges respectives q_A et q_B séparés par une distance d , il existe une interaction, modélisée par des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ dont les caractéristiques sont les suivantes :

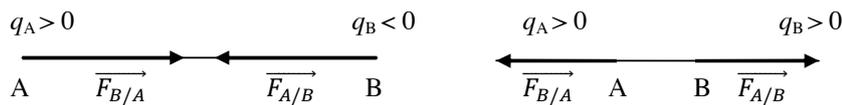
- direction de la droite (AB).
- sens : dépend du signe des charges,
- norme : $F_{A/B} = F_{B/A} = k \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{d^2}$ avec q_A et q_B en coulomb (C), d en mètres (m) et F en newton (N).

k est la constante de la loi de Coulomb qui vaut $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ dans le vide et dans l'air, où ϵ_0 est la permittivité diélectrique du vide.

Propriété fondamentale

Ces forces sont :

- **attractives** si les charges sont de **signes opposés (ou contraires)**,
- **répulsives** si les charges sont de **même signe**.



III. Cohésion de la matière

1. Au niveau du noyau

La cohésion du noyau est assurée par une interaction fondamentale entre les nucléons appelée **interaction forte**. Elle est portée très faible (10^{-15} m) et se limite au noyau. Au niveau du noyau, cette interaction est environ 1 000 fois plus forte que l'interaction électrique.

Il existe également une autre interaction, appelée **interaction faible** (environ 10^6 fois plus faible que l'interaction forte), qui intervient dans la cohésion du noyau. Sa portée est également faible (10^{-18} m). Une de ses manifestations est la radioactivité β .

Les trois interactions coexistent à **l'échelle des noyaux atomiques** mais la force d'interaction électrique est 10^{36} fois plus grande que la force d'interaction gravitationnelle. Le noyau devrait exploser à cause de la répulsion des protons mais l'interaction forte à ces distances est 100 à 1000 fois plus intense que l'interaction électrique. C'est donc l'interaction forte qui prédomine et qui est à l'origine de la cohésion du noyau.

2. Aux autres échelles

De l'atome à notre échelle, la cohésion de la matière est assurée par l'**interaction électromagnétique**.

Aux échelles atomiques et humaines, l'interaction électrique entre le proton et l'électron d'un atome d'hydrogène est 10^{40} fois plus intense que l'interaction gravitationnelle et les interactions forte et faible sont négligeables (hors du noyau). C'est donc l'interaction électrique qui prédomine et assure la cohésion de la matière, y compris la matière vivante.

Quand les tailles des objets (et donc le nombre d'atomes présents) augmentent, les interactions électromagnétiques sont moins importantes par un effet de moyenne spatiale sur les charges positives et négatives. Les objets formés occupent un volume important et sont neutres électriquement. Les seules interactions qui persistent sont les interactions gravitationnelles.

À l'échelle de l'univers, la cohésion de la matière est assurée par l'**interaction gravitationnelle**. À l'échelle astronomique, la matière est globalement neutre et les masses mises en jeu sont considérables. C'est donc l'interaction gravitationnelle qui prédomine et qui assure la cohésion de la matière à l'échelle de l'Univers.

Exercices chapitre 1

Données : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \approx \frac{20}{3} \cdot 10^{-11} \text{ usi}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ usi}$

1. Sans calculatrice. ❶ Quelle est l'affirmation fautive ?

A : Dans les conducteurs, les électrons libres peuvent se déplacer sur de grandes distances

B : Dans les isolants, les charges électriques restent localisées à l'endroit où elles ont été produites, leur déplacement est inférieur à la taille atomique

C : Les électrons assurent le passage du courant électrique dans les métaux

D : L'interaction électrique entre deux corps chargés est, au même titre que l'interaction gravitationnelle, une interaction fondamentale liée aux caractéristiques de la matière

E : Les électrons libres assurent le passage du courant électrique dans les métaux

2. Sans calculatrice. ❷ Quelle est la combinaison correcte ?

1. La cohésion de la matière à l'échelle moléculaire et atomique est une conséquence de l'interaction électrique : les propriétés de la matière en découlent à notre échelle

2. L'interaction électrique permet aux atomes de se combiner entre eux pour donner toutes les formes de la matière

3. Les propriétés mécaniques ne découlent pas de l'interaction électrique dans la matière

4. La croissance des cristaux est une conséquence de l'interaction électrique

5. L'interaction électrique est indépendante de l'enchaînement atomique dans la macromolécule d'ADN

A : 1,2,3 ; B : 3,4,5 ; C : 1,3,4,5 ; D : 1,2,4 ; E : Autre

3. Sans calculatrice. ❸ Quelles sont les assertions vraies ?

A : Le phénomène d'attraction des astres dans l'espace est à l'origine des marées

B : La Lune est bien trop peu massive pour conserver une atmosphère

C : L'interaction gravitationnelle n'a rien à voir avec l'attraction des molécules de l'atmosphère par la Terre

D : Le poids peut être assimilé à la force gravitationnelle en première approximation

E : La formation des galaxies, des étoiles et des planètes dépend de l'attraction gravitationnelle

4. Sans calculatrice. ❹ Quelle est la combinaison correcte ?

1. Les protons et les électrons sont le « ciment » de l'atome ;

2. L'interaction forte est une interaction attractive intense qui s'exerce entre les nucléons et assure la cohésion des noyaux atomiques ;

3. L'interaction forte n'agit pas sur les électrons ;

4. L'interaction forte est une interaction qui agit à l'intérieur des noyaux atomiques, comme l'interaction faible ;

5. La portée de l'interaction forte ne dépasse pas la dimension nucléaire.

A : Toutes ; B : 4,3,1 ; C : 5,4,3,2 ; D : Aucune ; E : Autre

5. Avec calculatrice. ③

Données : $M_S = 1,98 \cdot 10^{30}$ kg ; $M_T = 5,98 \cdot 10^{24}$ kg ; $d = 1,50 \cdot 10^8$ km

La valeur de la force d'interaction gravitationnelle entre le Soleil (S) et la Terre (T), dont les centres sont séparés de la distance d , est :

A : $6,4 \cdot 10^{25}$ N ; B : $3,2 \cdot 10^{22}$ N ; C : $9,5 \cdot 10^{25}$ N ; D : $9,5 \cdot 10^{16}$ N ;
E : $0,5 \cdot 10^{30}$ N

6. (Suite) Le Soleil exerce une force gravitationnelle d'intensité $F = 1,4 \cdot 10^{21}$ N sur la planète Uranus de masse M_U . Sachant que la distance entre les centres du

Soleil et d'Uranus est $D = 2,90 \cdot 10^{12}$ m, quelle est la valeur du rapport $\frac{M_U}{M_T}$?

A : 12,0 ; B : 16,7 ; C : 15,1 ; D : 14,7 ; E : 13,4

7. Avec calculatrice. ③ On s'intéresse à l'interaction électrique entre le noyau de l'atome d'oxygène (8 protons et 8 neutrons) et un électron de cet atome. La distance entre les deux est 58 pm. Données : $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg ; $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$ kg ; $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg

L'interaction électrique est de l'ordre de :

A : $4 \mu\text{N}$; B : 2mN ; C : $0,5 \mu\text{N}$; D : $9,0 \mu\text{N}$; E: Trop faible pour être calculée

8. Sans calculatrice. ③ Quelles sont les affirmations correctes ?

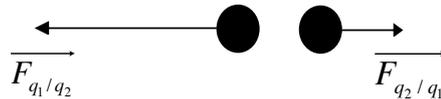
A : La force d'interaction gravitationnelle peut être répulsive ou attractive selon les cas

B : La force d'interaction électrique est attractive ou répulsive selon les cas

C. Si une charge q_1 repousse une charge q_2 alors q_2 attire q_1

D : À l'échelle astronomique, la force de gravitation est prépondérante par rapport aux forces électriques

E : Deux charges q_1 et $q_2 = 3q_1$ sont soumises chacune à une force d'interaction électrique exercée par l'autre charge. Le schéma qui illustre la situation est alors :



9. Sans calculatrice. ③ Quelles sont les affirmations exactes ?

A : La constante k relative à l'interaction électrique a pour unité le $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-1}$

B : L'unité de la constante gravitationnelle G est $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

C : La constante de Coulomb k a pour unité le $\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{C}^{-2}$

Dans l'atome d'hydrogène, on peut écrire que les intensités des forces gravitationnelle F_g et électrique F_e s'exerçant entre le proton (p) et l'électron (e) sont dans un rapport :

$$\text{D : } \frac{F_g}{F_e} = \frac{G m_p m_e}{k e^2}$$

$$\text{E : } \frac{F_e}{F_g} = \frac{G m_p m_e}{k e^2}$$

10. Sans calculatrice. ④ Quelle est l'affirmation fausse ?

A : L'interaction faible peut être attractive ou répulsive selon les cas

B : L'interaction faible est responsable de la radioactivité qui permet au Soleil de briller

C : Globalement les forces électriques se compensent alors que les forces de gravitation cumulent leurs effets

D : L'interaction forte diminue avec la distance, comme l'interaction gravitationnelle

E : L'interaction forte a une portée très courte de l'ordre de 1 fm

Corrections chapitre 1

1. Réponse C : les électrons libres assurent le passage du courant électrique.

2. Réponse D : 3. les transformations chimiques résultent de l'interaction électrique.

3. Réponses ABDE. C : la Terre attire les molécules de l'atmosphère grâce à la force gravitationnelle ; D : pour égaliser ces deux forces, il faut tenir compte de la rotation propre de la Terre.

4. Réponse C : 1. les protons, les électrons et les neutrons sont les « briques » de l'atome.

5. Réponse B : $F_{T/S} = F_{S/T} = G \frac{M_T \times M_S}{d^2}$

$$AN = \frac{20 \times 5,98 \times 1,98}{3 \times 1,5^2} \cdot 10^{-11+24+30-22} \approx 3,2 \cdot 10^{22} \text{ N}$$

6. Réponse D : $M_U = \frac{F \times D^2}{GM_S}$ $AN : M_U = \frac{1,4 \times 2,9^2}{6,67 \times 1,98} \cdot 10^{21+24+11-30} = 8,8 \cdot 10^{25} \text{ kg}$

donc $\frac{M_U}{M_T} = 14,7$

7. Réponse C : $F = K \frac{8e \times |-e|}{d^2} = \frac{9 \times 8 \times 1 \times 1,67^2}{5,8^2} \cdot 10^{9-39+22} \approx 5 \cdot 10^{-7} = 0,5 \mu\text{N}$

8. Réponses BD : E. $\vec{F}_{q_1/q_2} = -\vec{F}_{q_2/q_1}$ donc $F_{q_1/q_2} = F_{q_2/q_1}$

9. Réponses AD : A. k en $\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$ ou en $\text{m}^3 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{C}^{-2}$

$$D : \frac{F_g}{F_e} = \frac{G \frac{m_p m_e}{d^2}}{k \frac{e^2}{d^2}} = \frac{G m_p m_e}{k e^2}$$

10. Réponse D : l'interaction forte augmente avec la distance séparant les quarks, contrairement de l'interaction gravitationnelle ou électrique.

Corrections vidéo sur www.100pour100kine.fr code : KR1011