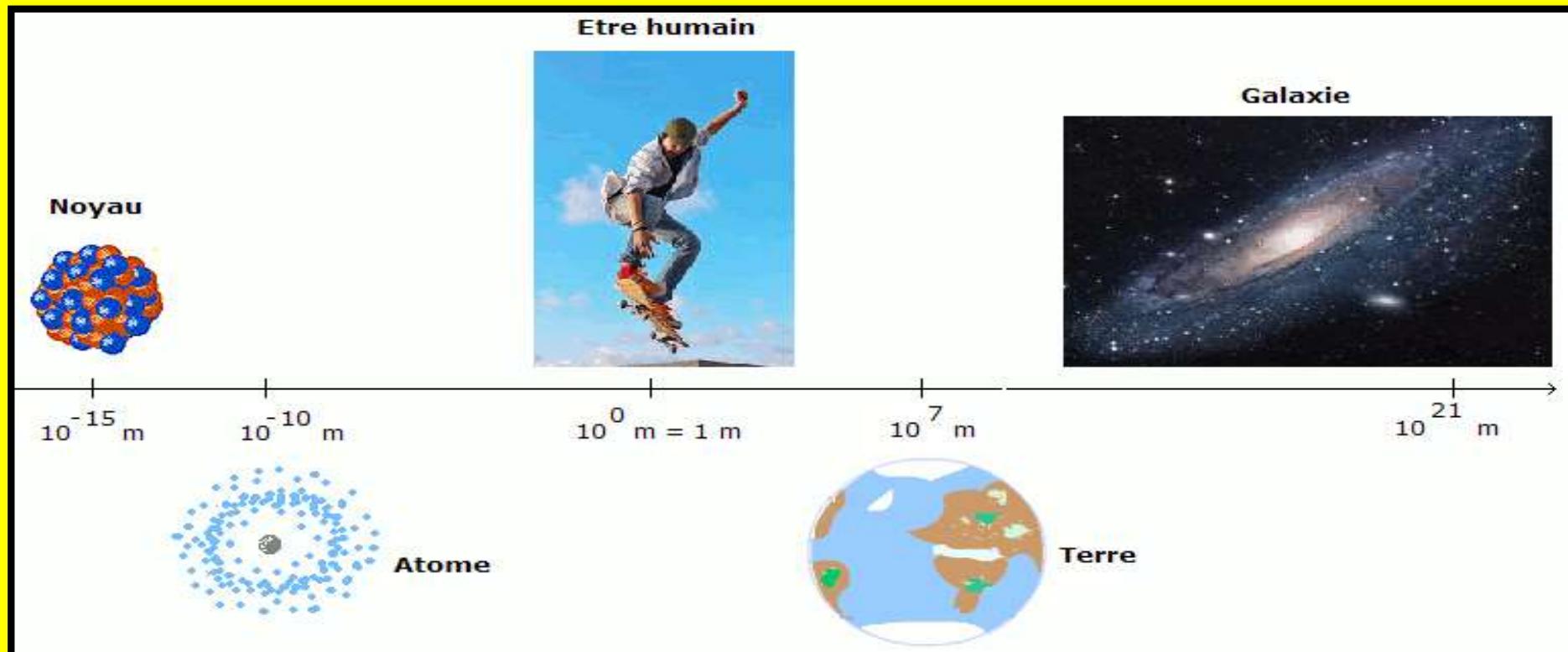


Ordre de grandeur

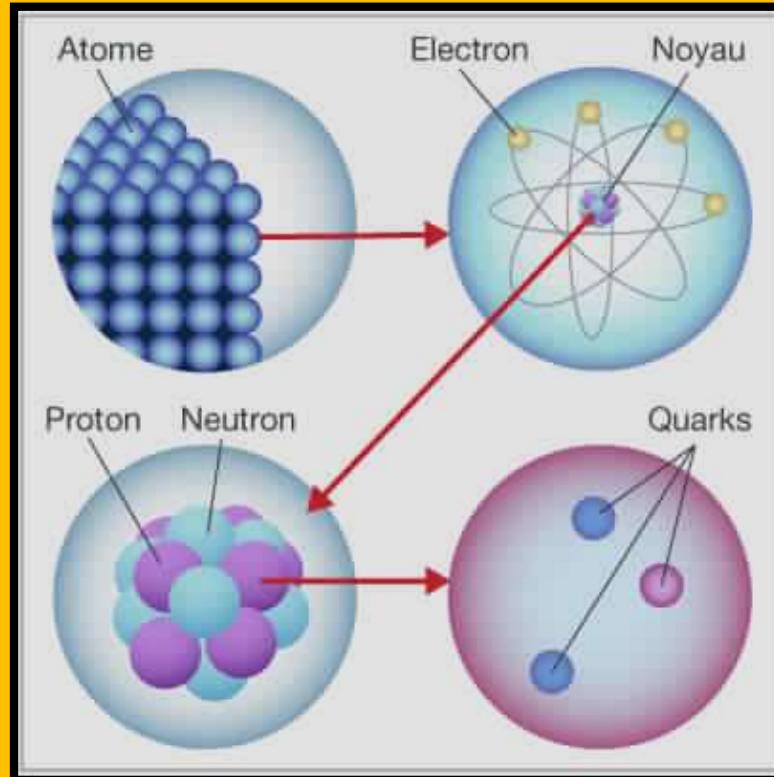
L'ordre de grandeur d'une valeur est la puissance de dix la plus proche de cette valeur.



Rappel sur la constitution de la matière

L'élément de base à partir duquel toute matière est constituée est l'atome.

Formé d'un noyau central chargé positivement autour duquel gravitent des électrons



Le nombre d'électrons est spécifique pour chaque espèce.

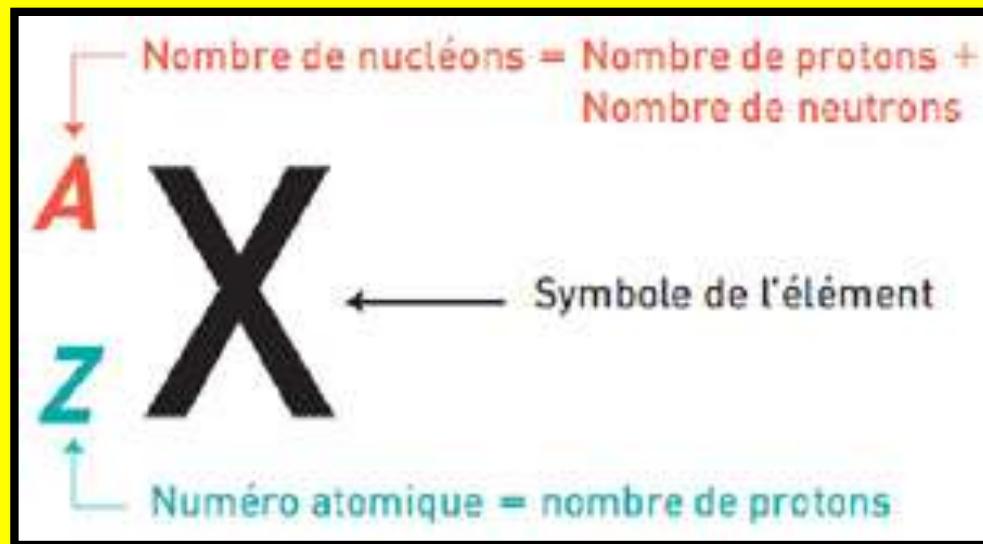
Le noyau est formé par des protons et de neutrons qui eux sont formés à partir de quarks

La charge élémentaire est la plus petite charge électrique susceptible
 $e=1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Caractéristiques des particules élémentaires dans l'atome

Proton	$m_p = 1,673 \times 10^{-27} \text{kg}$	$q = +e$	$r = 1,2 \times 10^{-15} \text{m}$
Neutron	$m_n = 1,675 \times 10^{-27} \text{kg}$	$q = 0$	$r = 1,2 \times 10^{-15} \text{m}$
Électron	$m_e = 9,109 \times 10^{-31} \text{kg}$	$q = -e$	

Symbole atomique



L'atome est une entité électriquement neutre.
Le nuage électronique est donc chargé négativement et
compte autant d'électrons qu'il y a de protons dans le noyau.

La charge du noyau est $q_N = +Z \times e$.

La charge portée par les électrons est $q_e = -Z \times e$



Les ions

Un ion est un atome qui a perdu ou gagné des électrons.

Un **cation** est un atome qui a perdu un ou plusieurs électrons



Un anion est un atome qui a gagné un ou plusieurs électrons





Les interactions fondamentales

Tous les phénomènes physiques observés dans l'Univers peuvent être expliqués grâce à **quatre interactions fondamentales**

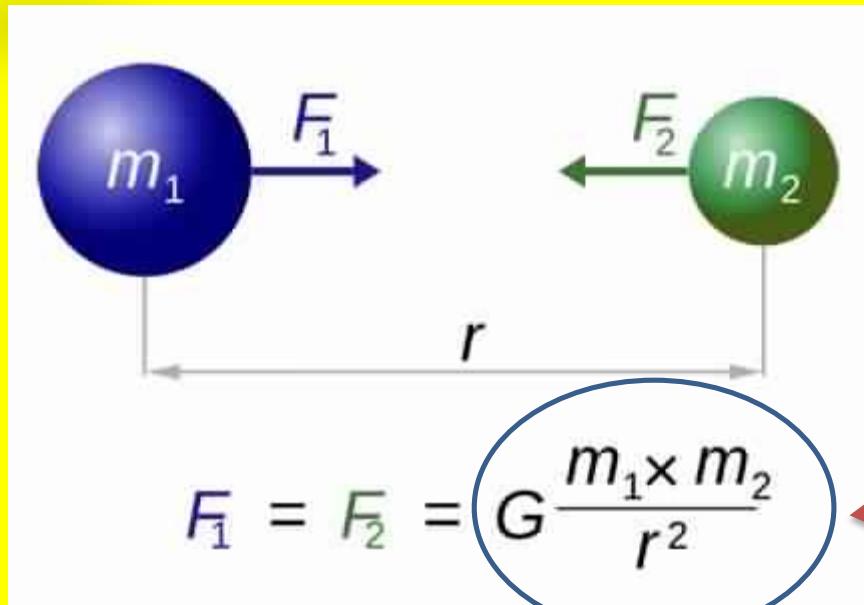
Interaction électromagnétique

Interaction gravitationnelle

Interaction faible

Interaction forte

1- Interaction gravitationnelle



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

$$\vec{F}_{A/B} = - \vec{F}_{B/A}$$

Deux masses en présence l'une exerce sur l'autre une force d'attraction dont la direction est la droite joignant leurs centres de gravité qui est aussi le point d'application. Son module vaut

G est la Constante de gravitation universelle
 $G=6.6 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{Kg}^{-2}$

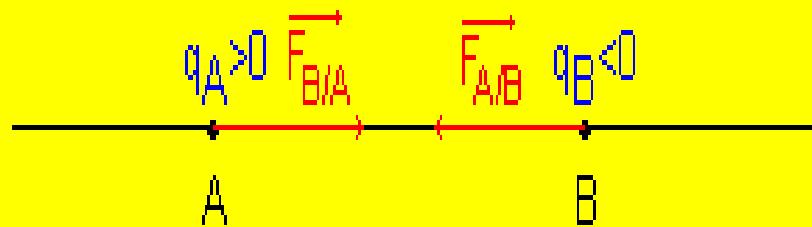
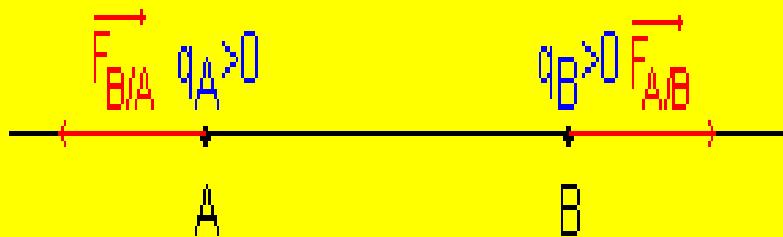
Bien qu'elle diminue avec la distance, la portée de l'interaction gravitationnelle est infinie

2-Interaction électromagnétique

Deux corps A et B, de charges respectives q_A et q_B , sont soumis à des forces $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$

de direction parallèle à la droite (AB)

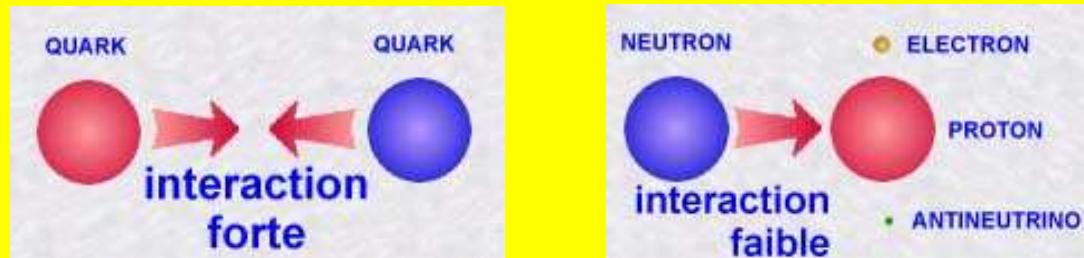
le sens dépend du signe des charges



$$f = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Bien qu'elle diminue avec la distance, la portée de l'interaction électromagnétique est infinie

3-Les interactions fortes et faibles



L'interaction forte permet la cohésion du noyau atomique. Elle compense la répulsion électrique entre protons et existe entre tous les nucléons .

sa portée ne dépasse pas les dimensions du noyau, soit 10^{-15} m .

L'interaction faible est responsable de certaines désintégrations radioactives (émission de particules par des noyaux). La portée de l'interaction faible est de l'ordre de quelques centièmes de la taille d'un nucléon, soit environ 10^{-17} m .

Application 1

- 1) Rappeler l'expression de la valeur F_g des forces d'attraction gravitationnelle s'exerçant entre deux masses ponctuelles m et m' séparées d'une distance d .
- 2) a) Exprimer littéralement le rapport F_e / F_g des valeurs des deux forces citées dans le texte dans le cas de deux particules de masses m et m' , et de charges q et q' distantes de d .
b) Ce rapport dépend-il de la distance d entre les particules ?
- 3) Dans le cas de deux protons, vérifier l'affirmation écrite en italique dans le texte ci-dessus.
- 4) De quelle interaction parle R. Feynman ?

Données :

Expression de la valeur de F_e : $F_e = k \cdot |q \cdot q'| / d^2$

$K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$; charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $m(\text{nucléon}) = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

Solution

Application 1

1) Expression de la valeur F_g des forces d'attraction gravitationnelle s'exerçant entre deux masses ponctuelles m et m' séparées d'une distance d : $F_g = G \cdot m \cdot m' / d^2$ **1 point**

2) a) Rapport F_e / F_g : on aboutit à $F_e / F_g = k/G \cdot |q \cdot q'| / m \cdot m'$ **1 point**

b) Le rapport ne dépend pas de la distance d entre les particules. **0,5 point**

3) Dans le cas de deux protons, vérification de l'affirmation écrite en italique dans le texte :

$$F_e / F_g = k/G \cdot |q \cdot q'| / m \cdot m' = (9 \times 10^9) / (6,67 \times 10^{-11}) \cdot (1,6 \times 10^{-19})^2 / (1,67 \times 10^{-27})^2$$

$F_e / F_g = 1,2 \times 10^{36}$, soit environ $10^{36} = 10^9 \times 10^9 \times 10^9 \times 10^9$ ou *un milliard de milliards de milliards de milliards de fois plus intense* **2 points**

4) R. Feynman parle de l'interaction électrostatique (plus généralement, électromagnétique) **0,5 point**

Données :

Expression de la valeur de F_e : $F_e = k \cdot |q \cdot q'| / d^2$

$K = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$; charge élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Application 2

Données générales :

- *Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ USI}$*
- *Constante de la force électrique : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ USI}$*
- *Masse d'un nucléon : $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$*
- *Charge électrique élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$*

au sein de la matière (8 pts)

- 1- a) Calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle \vec{F}_G s'exerçant entre deux protons distants de $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.
b) Est-ce une force attractive ou répulsive ?
c) A quelle échelle est-elle prédominante ? Quelle est sa portée ?
- 2- Calculer la valeur de la force d'interaction électrique \vec{F}_E s'exerçant entre ces deux protons.
b) Est-ce une force attractive ou répulsive ?
c) A quelle échelle est-elle prédominante ? Quelle est sa portée ?
- 3- Calculer le rapport $\frac{F_E}{F_G}$. Que peut-on conclure ?
- 4- Comment expliquer la cohésion de ce noyau ?

Solution

Application 2

1. a) La valeur de la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant entre deux protons est :

$$F = G \times \frac{m_p \times m_{p-}}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{(1,67 \cdot 10^{-27})^2}{(2,0 \cdot 10^{-15})^2} \approx 4,7 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

2 pts

b) Cette force est attractive. 0,5 pt

c) elle agit à l'échelle astronomique et est de portée infinie. 0,5 pt

2. La valeur de la force d'interaction électrique s'exerçant entre ces deux protons est : (avec $q_p = e$)

$$F = k \times \frac{|q_p \times q_p|}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{2,0 \cdot 10^{-15}} \right)^2 \approx 58 \text{ N}$$

2 pts

b) Cette force est dans ce cas répulsive. (2 protons chargés positivement) 0,5 pt

c) elle agit à l'échelle atomique et humaine et elle est de portée infinie. 0,5 pt



Application 2

3. Le rapport $\frac{F_E}{F_G} = \frac{58}{4,7 \cdot 10^{-35}} = \underline{1,2 \cdot 10^{36}}$. La force électrique est 10^{36} fois plus grande que la force gravitationnelle. On peut alors négliger F_G devant F_E . **1 pt**

4. La cohésion de ce noyau s'explique grâce à l'interaction forte, force attractive entre les nucléons. **1 pt**

Son domaine d'action est les nucléons (protons et neutrons), elle agit à l'échelle du noyau et elle est de portée de celle du noyau

Application 3

Données :

- Charge électrique élémentaire : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Constante électrique (vide ou air) : $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^2$

La solution de chlorure de fer III est constituée d'anions chlorure Cl^- et de cations ferrique Fe^{3+} .

- 1) Donner la formule statistique de ce solide ionique.
- 2) Exprimer en fonction de la charge élémentaire e , la charge q_1 d'un ion chlorure.
- 3) Exprimer en fonction de la charge élémentaire e , la charge q_2 d'un ion ferrique.
- 4) Exprimer puis calculer la force électrostatique \mathbf{F} exercée par l'ion ferrique sur l'ion chlorure lorsque ceux-ci sont séparés par une distance $d = 0,20 \mu\text{m}$.

Solution



Application 3

La solution de chlorure de fer III est constituée d'anions chlorure Cl^- et de cations ferrique Fe^{3+} .

1) Formule statistique de ce solide ionique : $FeCl_3$ (s) 1pt

2) $q_1 = -e$ 0,5pt

3) $q_2 = 3e$ 0,5pt

4) Exprimer puis calculer la force électrostatique F exercée par l'ion ferrique sur l'ion chlorure lorsque ceux-ci sont séparés par une distance $d = 0,20 \mu m$.

$$F = k \times \frac{|q_1 \times q_2|}{d^2}$$

1pt

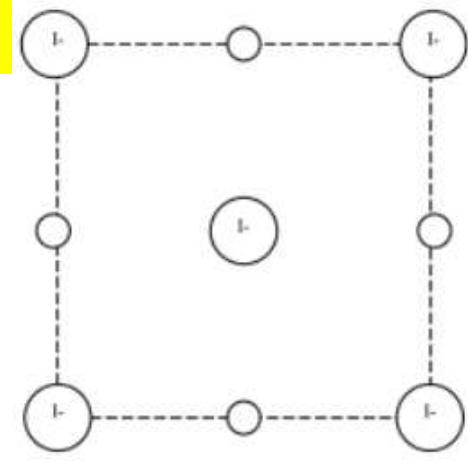
$F = 1,73 \cdot 10^{-15} N$ 1pt

Application 4

L'iodure de potassium, qui est un sel blanc comparable au sel de cuisine, a pour formule chimique KI et n'est ni atomique ni moléculaire. Il s'agit d'un cristal ionique, c'est-à-dire d'un solide constitué d'ions potassium K^+ et d'ions iodure I^- . Sa formule chimique KI indique qu'il y a dans le cristal une proportion de « un ion potassium » pour « un ion iodure ».

Comme tout cristal, il est donc bien entendu globalement neutre. Sa structure ionique est dite « cubique face centrée ».

L'iodure de potassium a des applications industrielles et peut être utilisé comme traitement d'urgence pour l'hyperthyroïdie (suite à une exposition à une source radioactive par exemple).



$a = 716 \text{ pm}$
Cristal ionique de
iodure de potassium (KI)



Application 4

1. Donner la composition de chacun des deux ions formés à partir des atomes $^{39}_{19}\text{K}$ et $^{127}_{53}\text{I}$.

2. Calculer la masse de chacun des deux ions. On notera ces deux masses m_{K^+} et m_{I^-} .

3. Calculer la charge électrique globale portée par chaque ion. On les notera q_{K^+} et q_{I^-} .

Interactions : les ions sont répartis dans un cristal ionique selon un empilement ordonné très strict. Ici, les ions iodure I^- sont aux sommets de cubes contigus d'arête « a » et aux centres de chaque face de ce cube. Les ions potassium K^+ sont aux milieux de chaque arête et au centre de chaque cube. Si l'on représente cette structure dans le plan, on obtient l'organisation suivante :

4. Sachant que $a = 716 \text{ pm}$ pour l'iodure de potassium, calculer la distance entre un ion iodure et un ion potassium voisin, notée $d_{\text{K-I}}$.

5. Calculer la valeur de l'interaction électrique entre ces deux ions. Indiquez si cette interaction est attractive ou répulsive. Justifiez.

6. Calculer la force d'interaction gravitationnelle qui s'exerce entre ces deux mêmes ions.

7. Le cristal d'iodure de potassium est d'une très grande dureté, et sa température de fusion est très élevée (686°C) : quelle interaction faut-il considérer pour expliquer cette très grande cohésion ? Justifier la réponse.

Données : $m_{\text{nucléons}} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ SI}$; $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ SI}$; $1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$

Solution

Application 4

1. Composition de l'ion potassium K^+ : 19 protons, 20 neutrons, 18 électrons (l'atome K a perdu un électron)

Composition de l'ion iodure I^- : 53 protons, 74 neutrons, 54 électrons (l'atome I a gagné un électron) **1 pt**

2. Masse des ions : $m_{K^+} = A \times m_n = 39 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 6,51 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$

$m_{I^-} = A \times m_n = 127 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 21,2 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$ **1 pt**

3. Charges des ions (K^+ porte une charge positive excédentaire et I^- une charge négative excédentaire) :

$$q_{K^+} = +e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$q_{I^-} = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$
 1 pt

Application 4

4. Distance entre deux ions K^+ et I^- : $d_{K-I} = \frac{a}{2} = \frac{7,16 \cdot 10^{-10}}{2} = 3,58 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

0,5 pt

5. Deux ions voisins ont des charges opposées donc la force d'interaction électrique entre les deux est attractive :

$$F_E = k \times \frac{|q_{I^-} \times q_{K^+}|}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \times \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(3,58 \cdot 10^{-10})^2} = 1,8 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

2 pts

6. Force d'interaction gravitationnelle entre ces deux mêmes ions :

$$F_G = G \times \frac{m_{I^-} \times m_{K^+}}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{6,51 \cdot 10^{-26} \times 21,2 \cdot 10^{-26}}{(3,58 \cdot 10^{-10})^2} = 7,2 \cdot 10^{-42} \text{ N}$$

2 pts

7. La force due à l'interaction gravitationnelle est 10^{32} fois plus petite que la force due à l'interaction électrique donc la cohésion du cristal ionique s'explique entièrement par l'interaction électrique. La gravité est totalement négligeable à cette échelle, et l'interaction forte n'a encore aucune influence puisque les distances entre ions sont très supérieures aux distances intranucléaires ($10^{-10} \text{ m} \gg 10^{-15} \text{ m}$). 1 pt

Application 5

- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ USI}$
- Constante de la force électrique : $k = 9,0 \cdot 10^9 \text{ USI}$
- Masse d'un nucléon : $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
- Charge électrique élémentaire : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

- 1- a) Calculer la valeur de la force d'interaction gravitationnelle \vec{F}_G s'exerçant entre deux protons distants de $2,0 \cdot 10^{-15} \text{ m}$.
b) Est-ce une force attractive ou répulsive ?
c) A quelle échelle est-elle prédominante ? Quelle est sa portée ?
- 2- Calculer la valeur de la force d'interaction électrique \vec{F}_E s'exerçant entre ces deux protons.
b) Est-ce une force attractive ou répulsive ?
c) A quelle échelle est-elle prédominante ? Quelle est sa portée ?
- 3- Calculer le rapport $\frac{F_E}{F_G}$. Que peut-on conclure ?
- 4- Comment expliquer la cohésion de ce noyau ?

1. a) La valeur de la force d'interaction gravitationnelle s'exerçant entre deux protons est

$$F = G \times \frac{m_p \times m_{p_-}}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{(1,67 \cdot 10^{-27})^2}{(2,0 \cdot 10^{-15})^2} \approx 4,7 \cdot 10^{-35} \text{ N}$$

b) Cette force est attractive.

c) elle agit à l'échelle astronomique et est de portée infinie.

2. La valeur de la force d'interaction électrique s'exerçant entre ces deux protons est : (avec $q_p = e$)

$$F = k \times \frac{|q_p \times q_p|}{d^2} = 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{2,0 \cdot 10^{-15}} \right)^2 \approx 58 \text{ N}$$

- b) Cette force est dans ce cas répulsive. (2 protons chargés positivement)
- c) elle agit à l'échelle atomique et humaine et elle est de portée infinie.

3. Le rapport $\frac{F_E}{F_G} = \frac{58}{4,7 \cdot 10^{-35}} = \underline{1,2 \cdot 10^{36}}$. La force électrique est 10^{36} fois plus grande que la force gravitationnelle. On peut alors négliger F_G devant F_E .

4. La cohésion de ce noyau s'explique grâce à l'interaction forte, force attractive entre les nucléons.

Son domaine d'action est les nucléons (protons et neutrons), elle agit à l'échelle du noyau et elle est de portée de celle du noyau