

**Données :**

Constante de Coulomb :  $k = 9,0 \cdot 10^9$  (SI) Charge élémentaire :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

Constante de gravitation universelle :  $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$  (SI)

Masse d'un nucléon :  $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg Masse d'un électron :  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg

1 pm (picomètre) =  $10^{-12}$  m

**EX1 : Cohésion d'un atome de fer ( 9 pts)**

Un atome de fer a un noyau de symbole  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$

On se propose ici d'étudier les deux interactions gravitationnelle et électrique entre le noyau et un électron du nuage électronique situé à une distance moyenne  $d = 10$  pm du noyau

- Déterminer la composition du noyau .
- Calculer la masse du noyau
- Préciser si l'interaction gravitationnelle entre le noyau et l'électron est attractive ou répulsive, puis calculer la valeur  $F_g$  de la force gravitationnelle exercée le noyau sur l'électron
- Exprimer la charge électrique portée par le noyau en fonction de la charge élémentaire  $e$  puis calculer sa valeur.
- Préciser si l'interaction électrique entre le noyau et l'électron est attractive ou répulsive, puis calculer la valeur  $F_E$  de la force électrique exercée le noyau sur l'électron
- Montrer que l'une de ces forces est prépondérante, puis sur un schéma représentant le noyau et l'électron, la représenter en précisant l'échelle utilisée
- Le « fer 57 » est un noyau isotope du « fer 56 » décrit précédemment. Après avoir défini ce que sont deux isotopes, préciser laquelle des deux forces calculées précédemment serait modifiée

Maintenant intéressons-nous à la cohésion du noyau :

- Quel est le nom de l'interaction responsable de la cohésion du noyau ?
- Est-elle attractive ou répulsive ? Justifier.
- Cette interaction agit-elle aussi entre le noyau et les électrons ? Justifier

**Une question autour de la radioactivité ( 1,5 pt)**

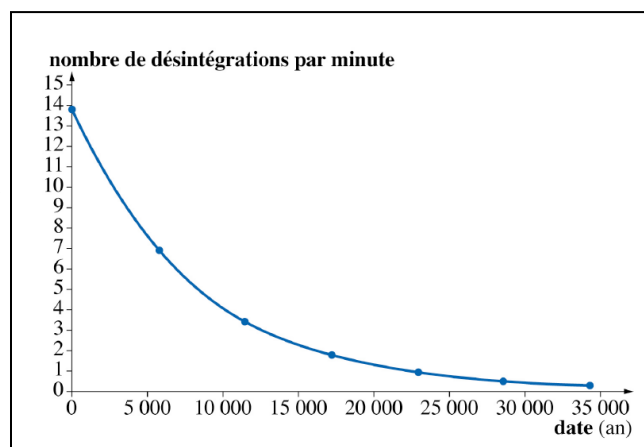
Définir l' « activité » d'un corps radioactif et donner l'ordre de grandeur de l'activité radioactive moyenne d'un individu

**EX 2 : datation au carbone 14 ( 4 pts)**

La datation d'objets anciens peut s'effectuer à l'aide de la décroissance radioactive : les noyaux radioactifs se désintègrent en donnant d'autres noyaux . Ainsi , un échantillon de carbone 14 voit sa population (son nombre de noyaux de carbone 14) divisée par 2 à chaque intervalle de temps appelé demi-vie et notée  $t_{1/2}$  .

De même , l'activité d'un échantillon de carbone 14 se voit divisée par 2 à chaque « demi-vie » , puisque l'activité est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs

La courbe ci-contre indique le nombre de désintégrations par minute et par gramme de carbone en fonction du temps.



- A partir de la courbe , estimer la valeur de la demi-vie  $t_{1/2}$  du carbone 14
- Le carbone 14 est émetteur radioactif  $\beta^-$  . Ecrire l'équation de sa désintégration en identifiant le noyau formé.

« La mesure de l'activité d'un objet découvert dans la grotte de Lascaux est de 1,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone , alors que celle d'un organisme vivant est de 13,6 désintégrations par minute et par gramme de carbone »

- Le terme « activité » est-il correctement utilisé ici ?
- En faisant l'hypothèse que les peintures ont été réalisées à la même période que l'objet , estimer leur âge
- Peut-on envisager de dater des objets ayant quelques millions d'années avec la méthode du carbone 14 ? Justifier

**EX3 : dangers du polonium 210 ( 5,5 pts )**

Le polonium 210 est un radioisotope présent en quantité minuscule dans le sol. Sa radioactivité est de type  $\alpha$ . Ce type de particule est très peu pénétrant, donc ne franchit pas la peau. Son activité massique est très élevée ( $1,66 \cdot 10^{14} \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$ ), ce qui en fait un élément très dangereux. La toxicité du polonium 210 est de **deux types** : **aiguë**, si une grande quantité est absorbée, ou **chronique** pour une absorption régulière de faibles quantités. Dans le premier cas la mort intervient rapidement, dans le second la toxicité se traduit par un risque de cancer.

Le tableau ci-contre indique des ordres de grandeur de la nocivité de l'irradiation par le polonium 210, par ingestion ou inhalation en une seule fois.

| Activité de l'échantillon de polonium 210 |                   | Troubles                             |
|---|-------------------|--------------------------------------|
| Ingéré                                    | Inhalé            |                                      |
| < 0,1 MBq                                 | < 0,02 MBq        | Pas d'effet systématique             |
| 1 MBq                                     | 0,2 MBq           | Nausées, déficits de globules blancs |
| À partir de 3 MBq                         | À partir de 1 MBq | Dommages irréversibles               |
| À partir de 7 MBq                         | À partir de 2 MBq | Hémorragies, décès probable          |

- Ecrire l'équation de la désintégration du polonium 210 en identifiant le noyau formé.
- Pourquoi le polonium est-il toxique par ingestion ou inhalation, et non par simple contact ?
- En novembre 2006, le colonel du FSB (services secrets russes) Alexander Litvinenko est décédé, après trois semaines d'agonie, des suites d'une ingestion de polonium 210.
  - En imaginant qu'il a reçu en une fois la dose létale (dose qui entraîne la mort) de 10 MBq, déterminer la masse de polonium qu'il a ingérée.
  - La commission d'enquête estime qu'il a, en réalité, avalé environ deux microgrammes de polonium 210. Conclure sur les intentions de ceux qui le lui ont fait ingérer.
- Le tabac est une plante qui concentre le polonium dans ses feuilles. Cet élément chimique est par conséquent contenu en traces non négligeables dans les cigarettes. L'activité d'une seule cigarette due au polonium est estimée à 75 mBq. 91,7 % du polonium se retrouve dans les cendres, 6,7 % dans la fumée inhalée par le fumeur et 1,6 % dans la fumée exhalée aux alentours.
  - Estimer l'activité annuelle **inhalée** par un fumeur consommant dix cigarettes par jour.
  - Le tabac étant reconnu comme toxique en partie à cause de l'exposition au polonium, de quel type de toxicité s'agit-il ?

| colonnes périodes ↓ | 1                             | 2                             | 3                            | 4                                   | 5                             | 6                                | 7                              | 8                              | 9                                | 10                                 | 11                                | 12                                | 13                            | 14                            | 15                             | 16                            | 17                          | 18                          |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1                   | 1<br>H<br>hydrogène<br>1,0    |                               |                              |                                     |                               |                                  |                                |                                |                                  |                                    |                                   |                                   |                               |                               |                                |                               |                             | 4<br>He<br>hélium<br>4,0    |
| 2                   | 3<br>Li<br>lithium<br>6,9     | 4<br>Be<br>béryllium<br>9,0   |                              |                                     |                               |                                  |                                |                                |                                  |                                    |                                   |                                   | 11<br>B<br>bore<br>10,8       | 12<br>C<br>carbone<br>12,0    | 14<br>N<br>azote<br>14,0       | 16<br>O<br>oxygène<br>16,0    | 19<br>F<br>fluor<br>19,0    | 20<br>Ne<br>néon<br>20,2    |
| 3                   | 11<br>Na<br>sodium<br>23,0    | 12<br>Mg<br>magnésium<br>24,3 |                              |                                     |                               |                                  |                                |                                |                                  |                                    |                                   |                                   | 13<br>Al<br>aluminium<br>27,0 | 14<br>Si<br>silicium<br>28,1  | 15<br>P<br>phosphore<br>31,0   | 16<br>S<br>soufre<br>32,1     | 17<br>Cl<br>chlore<br>35,5  | 18<br>Ar<br>argon<br>39,9   |
| 4                   | 19<br>K<br>potassium<br>39,1  | 20<br>Ca<br>calcium<br>40,1   | 21<br>Sc<br>scandium<br>45,0 | 22<br>Ti<br>titane<br>47,9          | 23<br>V<br>vanadium<br>50,9   | 24<br>Cr<br>chrome<br>52,0       | 25<br>Mn<br>manganèse<br>54,9  | 26<br>Fe<br>fer<br>55,8        | 27<br>Co<br>cobalt<br>58,9       | 28<br>Ni<br>nickel<br>58,7         | 29<br>Cu<br>cuivre<br>63,5        | 30<br>Zn<br>zinc<br>65,4          | 31<br>Ga<br>gallium<br>69,7   | 32<br>Ge<br>germanium<br>72,6 | 33<br>As<br>arsenic<br>74,9    | 34<br>Se<br>sélénium<br>79,0  | 35<br>Br<br>brome<br>79,9   | 36<br>Kr<br>krypton<br>83,8 |
| 5                   | 37<br>Rb<br>rubidium<br>85,5  | 38<br>Sr<br>strontium<br>87,6 | 39<br>Y<br>yttrium<br>88,9   | 40<br>Zr<br>zirconium<br>91,2       | 41<br>Nb<br>niobium<br>92,9   | 42<br>Mo<br>molybdène<br>95,9    | 43<br>Tc<br>technétium<br>(98) | 44<br>Ru<br>ruthénium<br>101,1 | 45<br>Rh<br>rhodium<br>102,9     | 46<br>Pd<br>palladium<br>106,4     | 47<br>Ag<br>argent<br>107,9       | 48<br>Cd<br>cadmium<br>112,4      | 49<br>In<br>indium<br>114,8   | 50<br>Sn<br>étain<br>118,7    | 51<br>Sb<br>antimoine<br>121,8 | 52<br>Te<br>tellure<br>127,6  | 53<br>I<br>iode<br>126,9    | 54<br>Xe<br>xénon<br>131,3  |
| 6                   | 55<br>Cs<br>césium<br>132,9   | 56<br>Ba<br>baryum<br>137,3   | L                            | 72<br>Hf<br>hafnium<br>178,5        | 73<br>Ta<br>tantalé<br>180,9  | 74<br>W<br>tungstène<br>183,8    | 75<br>Re<br>rhénium<br>186,2   | 76<br>Os<br>osmium<br>190,2    | 77<br>Ir<br>iridium<br>192,2     | 78<br>Pt<br>platine<br>195,1       | 79<br>Au<br>or<br>197,0           | 80<br>Hg<br>mercure<br>200,6      | 81<br>Tl<br>thallium<br>204,4 | 82<br>Pb<br>plomb<br>207,2    | 83<br>Bi<br>bismuth<br>209,0   | 84<br>Po<br>polonium<br>(209) | 85<br>At<br>astate<br>(210) | 86<br>Rn<br>radon<br>(222)  |
| 7                   | 87<br>Fr<br>francium<br>(223) | 88<br>Ra<br>radium<br>(226)   | A                            | 104<br>Rf<br>rutherfordium<br>(261) | 105<br>Db<br>dubnium<br>(262) | 106<br>Sg<br>seaborgium<br>(266) | 107<br>Bh<br>bohrium<br>(264)  | 108<br>Hs<br>hassium<br>(277)  | 109<br>Mt<br>meitnerium<br>(268) | 110<br>Ds<br>darmstadtium<br>(271) | 111<br>Rg<br>roentgenium<br>(272) | 112<br>Cn<br>copernicium<br>(285) |                               |                               |                                |                               |                             |                             |

**corrigé**

**EX1 : Cohésion d'un atome de fer ( 9 pts)**

Un atome de fer a un noyau de symbole  ${}^{56}_{26}Fe$

On se propose ici d'étudier les deux interactions gravitationnelle et électrique entre le noyau et un électron du nuage électronique situé à une distance moyenne  $d = 10$  pm du noyau

1. Déterminer la composition du noyau .

**Le noyau contient 56 (A) nucléons dont 26 (Z) protons et 30 neutrons (A-Z)**

2. Calculer la masse du noyau

$$m(\text{noyau}) = \text{masse des 56 nucléons} = 56 \times m = 56 \times 1,67 \cdot 10^{-27} = 9,35 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$$

**La masse d'un noyau de fer 56 est  $9,35 \cdot 10^{-26}$  kg**

3. Préciser si l'interaction gravitationnelle entre le noyau et l'électron est attractive ou répulsive, puis calculer la valeur  $F_g$  de la force gravitationnelle exercée le noyau sur l'électron

**L'interaction gravitationnelle est toujours attractive et sa valeur est ici :**

$$F_g = G \frac{m(\text{noyau}) \times m_e}{d^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \times \frac{9,35 \cdot 10^{-26} \times 9,11 \cdot 10^{-31}}{(10 \times 10^{-12})^2} = 5,68 \times 10^{-44} \text{ N}$$

**La valeur de la force gravitationnelle qui s'exerce entre le noyau et l'électron est de  $5,68 \cdot 10^{-44}$  N**

4. Exprimer la charge électrique portée par le noyau en fonction de la charge élémentaire  $e$  puis calculer sa valeur. 1

**À l'intérieur du noyau, seuls les protons sont chargés et portent chacun une charge égale à  $+e$ . Donc la charge du noyau vaut  $q_{\text{noyau}} = Z \times e = 26e$ . Donc  $q_{\text{noyau}} = 26 \times 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,2 \cdot 10^{-18}$  C. La valeur de la charge du noyau est de  $4,2 \cdot 10^{-18}$  C.**

5. Préciser si l'interaction électrique entre le noyau et l'électron est attractive ou répulsive, puis calculer la valeur  $F_E$  de la force électrique exercée le noyau sur l'électron

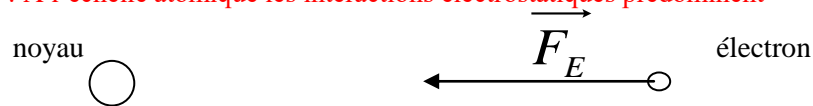
**Le noyau étant chargé positivement et un électron étant chargé négativement, l'interaction électrostatique est aussi attractive puisque les charges sont de signe opposé .**

$$F_E = k \frac{|q_{\text{noyau}}| \cdot |q_{\text{electron}}|}{d^2} = k \frac{26e \times e}{d^2} = k \frac{26e^2}{d^2} = k \times 26 \times \left(\frac{e}{d}\right)^2$$
$$= 26 \times 9,0 \cdot 10^9 \times \left(\frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{10^{-11}}\right)^2 = 26 \times 9,0 \cdot 10^9 \times (1,6 \cdot 10^{-8})^2 = 6,0 \cdot 10^{-5} \text{ N.}$$

**La valeur de la force électrostatique est de  $6,0 \cdot 10^{-5}$  N**

6. Montrer que l'une de ces forces est prépondérante, puis sur un schéma représentant le noyau et l'électron, la représenter en précisant l'échelle utilisée

**Le rapport  $F_E / F_g$  vaut  $6,0 \cdot 10^{-5} / 5,68 \cdot 10^{-44} \approx 10^{39}$ . La force électrostatique est très supérieure à la force gravitationnelle ! A l'échelle atomique les interactions électrostatiques prédominent**



**La force est représentée à l'échelle 1 cm pour  $2 \cdot 10^{-5}$  N**

7. Le « fer 57 » est un noyau isotope du « fer 56 » décrit précédemment. Après avoir défini ce que sont deux isotopes, préciser laquelle des deux forces calculées précédemment serait modifiée

**Deux isotopes sont des noyaux qui ont le même nombre de protons mais un nombre de neutrons différent. Par conséquent, la charge électrique du noyau de fer 57 est la même que celle du fer 56 : donc la valeur de la force électrostatique serait la même. En revanche la masse du noyau de fer 57 sera plus grande que celle du fer 56 : la force gravitationnelle sera plus importante (un peu)**

Maintenant intéressons-nous à la cohésion du noyau :

8. Quel est le nom de l'interaction responsable de la cohésion du noyau ? **L'interaction responsable de la cohésion du noyau est l'interaction forte.**

9. Est-elle attractive ou répulsive ? **L'interaction forte est toujours attractive**

10. Cette interaction agit-elle aussi entre le noyau et les électrons ? Justifier **Il ne peut pas s'exercer ce type d'interaction entre le noyau et les électrons car la distance proton - électron considérée dans cet exercice est de l'ordre de  $10^{-12}$  m, distance qui est très supérieure à la portée de l'interaction forte qui est de  $10^{-15}$  m.**

## Une question autour de la radioactivité ( 1,5 pt)

Définir l' « activité » d'un corps radioactif et donner l'ordre de grandeur de l'activité radioactive moyenne d'un individu

L'activité d'un corps radioactif est le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs qui se produisent par seconde dans ce corps .

On l'exprime en becquerel (Bq) . 1 Bq = une désintégration par seconde

L'activité d'un corps humain est de l'ordre de 8 000 Bq (due surtout au potassium 40 et au carbone 14

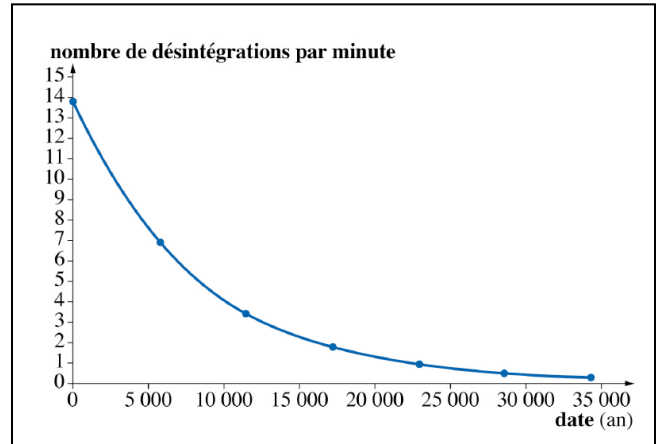
### EX 2 : datation au carbone 14 ( 4 pts)

- 1) A partir de la courbe , estimer la valeur de la demi-vie  $t_{1/2}$  du carbone 14

L'activité initiale vaut environ 14 (desintégrations/minute) . On cherche le temps qu'il faut pour passer à une activité divisée par deux , soit 7 désintégrations/minute (voir figure ci-dessus) . On obtient environ 6 000 ans (5 700 ans est la valeur précise mais le graphe ne permet pas d'avoir une telle précision) .

La demi-vie radioactive du carbone 14 est donc de **6000 ans environ**

- 2) Le carbone 14 est émetteur radioactif  $\beta^-$  . Ecrire l'équation de sa désintégration en identifiant le noyau formé.



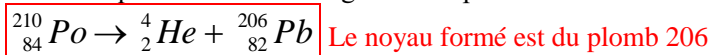
« La mesure de l'activité d'un objet découvert dans la grotte de Lascaux est de 1,5 désintégrations par minute et par gramme de carbone , alors que celle d'un organisme vivant est de 13,6 désintégrations par minute et par gramme de carbone »

- 3) Le terme « activité » est-il correctement utilisé ici ? . **Non car l'activité s'exprime normalement en nombre de désintégrations/seconde**
- 4) En faisant l'hypothèse que les peintures ont été réalisées à la même période que l'objet , estimer leur âge **Graphiquement on trouve que les peintures de la grotte de Lascaux ont été réalisées il y a 20 000 ans environ**
- 5) Peut-on envisager de dater des objets ayant quelques millions d'années avec la méthode du carbone 14 ? Justifier **Non , on ne peut pas , car l'activité due au carbone 14 serait bien trop faible**

### EX3 : dangers du polonium 210 ( 5,5 pts )

Le polonium 210 est un radioisotope présent en quantité minuscule dans le sol. Sa radioactivité est de type  $\alpha$ .....

- 1) Ecrire l'équation de la désintégration du polonium 210 en identifiant le noyau formé.



- 2) Pourquoi le polonium est-il toxique par ingestion ou inhalation, et non par simple contact ?

**La particule  $\alpha$  étant peu pénétrante, la peau suffit à l'arrêter ; aussi le polonium 210 n'est-il pas toxique par contact.**

- 3) En novembre 2006, le colonel du FSB (services secrets russes) Alexander Litvinenko est décédé, après trois semaines d'agonie, des suites d'une ingestion de polonium 210.

- a) En imaginant qu'il a reçu en une fois la dose létale (dose qui entraîne la mort) de 10 MBq, déterminer la masse de polonium qu'il a ingérée.

**La masse de polonium correspondant à la dose létale de 10 MBq est :  $10 \cdot 10^6 / 1,66 \cdot 10^{14} = 6,0 \cdot 10^{-8}$  g, soit 0,060  $\mu\text{g}$ .**

- b) La commission d'enquête estime qu'il a, en réalité, avalé environ deux microgrammes de polonium 210. Conclure sur les intentions de ceux qui le lui ont fait ingérer. **b) S'il en a ingéré 2  $\mu\text{g}$ , soit plus de 30 fois la dose létale, c'est que ses assassins ne voulaient lui laisser aucune chance de survie.**

- 4) Le tabac est une plante qui concentre le polonium dans ses feuilles. Cet élément chimique est par conséquent contenu en traces non négligeables dans les cigarettes. L'activité d'une seule cigarette due au polonium est estimée à 75 mBq. 91,7 % du polonium se retrouve dans les cendres, 6,7 % dans la fumée inhalée par le fumeur et 1,6 % dans la fumée exhalée aux alentours.

- a) Estimer l'activité annuelle **inhalée** par un fumeur consommant dix cigarettes par jour.

**Pour une seule cigarette, l'activité du polonium 210 inhalé est :  $75 \cdot 10^{-3} \times 0,067 = 5,0 \cdot 10^{-3}$  Bq.**

**Un fumeur consommant dix cigarettes par jour en fume environ 3650 par an, donc inhale une quantité de polonium d'activité totale :  $3650 \times 5,0 \cdot 10^{-3} = 18$  Bq.**

- b) Le tabac étant reconnu comme toxique en partie à cause de l'exposition au polonium, de quel type de toxicité s'agit-il ? . **Cette activité est très inférieure aux activités pour lesquelles le danger existe lors d'une inhalation en une seule fois. La toxicité est donc chronique.**