

*3-1 : Physique*

---

Chapitre 8 :  
**Le noyau et les réactions  
nucléaires**

Professeur Eva PEBAY-PEYROULA

---

Année universitaire 2010/2011

Université Joseph Fourier de Grenoble - Tous droits réservés.

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## Finalité du chapitre

- Les deux premiers paragraphes présentent les expériences et le développement des idées qui ont permis d'aboutir à la description élémentaire de la matière et à la notion d'atomes et de ses constituants. Ils permettent d'introduire la notion de quantification.
- Ensuite, le chapitre traitera des noyaux et des transformations possibles (spontanées ou induites)

### Plan

1. Généralités
2. Description atomique
3. Structure du noyau
4. Désintégrations radioactives
5. Réactions nucléaires induites
6. Lois de décroissance radioactive

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## Exemples d'application

### Médecine nucléaire

Diagnostic des maladies par l'utilisation de sources radioactives

Par exemple utilisation de  $^{123}\text{I}$  pour étudier le métabolisme de la thyroïde, le principe est basé sur la fixation de l'iode radioactif. L'iode radioactif émet un rayonnement qui peut être détecté par une caméra. Les propriétés de fixation de l'iode par la glande thyroïdienne sont altérées en cas de disfonctionnement.

### Radiothérapies

Dans le cas de cancer de la thyroïde on peut utiliser  $^{131}\text{I}$  pour détruire des cellules thyroïdiennes

### En cas d'accident nucléaire

$^{131}\text{I}$  pourrait venir se fixer à la thyroïde (néfaste), donc une prise d'iode non radioactif peut saturer les sites de fixation et éviter que l'iode radioactif, ou un autre élément radioactif, ne se fixe.

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 1. Généralités

- Aspect historique :
- Naissance de l'hypothèse moléculaire au 19<sup>ème</sup> siècle à partir des lois
- quantitatives de la chimie.

**Intuition:** unité de base est la molécule (Dalton)

les corps simples étant formés d'atomes, unités indestructibles.

1811, 2 volumes égaux de gaz: même nombre de molécules (Avogadro).

Analyse des expériences d'électrolyse: découverte de l'électron  
charge électrique d'un atome égale ou multiple d'une certaine quantité.

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 1. Généralités

- 1897 Masse de l'électron :
- 2000 fois plus petite que la masse de l'atome d'hydrogène (Wiechert)

Atome: noyau (charge  $>0$ ) et électrons (charge  $<0$ )

Progrès sur les connaissances sur l'atome :  
définition du numéro atomique  $Z$  de chaque atome  
classification de Mendeleieff

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

Développement des spectroscopies: fin du 19ème

Gaz excité (tube à décharge) émet des rayonnements

Analyse du spectre d'émission montre des raies spectrales de longueurs d'ondes bien définies

Atome Hydrogène:

Séries de raies de couleurs (1 couleur= 1 longueur d'onde) :

Série de Balmer:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{n^2}{(n^2 - 4)}$$

avec  $n > 2$  et  $\lambda_0 = 0,3650 \mu\text{m}$

$\lambda = 0,6563 \mu\text{m}$  pour la raie rouge, la plus grande longueur d'onde de la série

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

À partir de ces données: modèle de Bohr

Modèle planétaire: 1 électron en orbite autour du noyau

L'électron est accéléré et émet en permanence un rayonnement

Problème: perte d'énergie et l'électron collapse sur le noyau

D'où l'hypothèse de Bohr:

L'électron gravite sur des orbites stables et durables bien définies

Apport d'énergie (excitation de l'atome) permet de passer l'électron d'une orbite à un orbite plus éloignée

Le retour à une orbite d'énergie plus faible s'accompagne d'un rayonnement pour restituer l'énergie excédentaire

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

On a donc des sauts quantiques: passage d'un état excité  $E_e$  à un état final  $E_f$

Émission de rayonnement

$$h \nu = E_e - E_f$$

Ce postulat est en contradiction avec la théorie de Maxwell qui n'est donc plus vrai à l'échelle atomique

Une relation du type  $E = n h \nu$  avait été introduite dans la théorie du corps noir par Planck

$h$ : quantum d'action (produit d'une quantité de mouvement et d'une distance)

Bohr propose que le même  $h$  intervienne dans la quantification des orbites:

$$p_e 2\pi r_n = m_e v_n 2\pi r_n = n h$$

Avec  $n$ : entier qui caractérise l'orbite sur laquelle l'électron (masse  $m_e$ ) parcourt la distance  $2\pi r_n$  à la vitesse  $v_n$



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

2ème postulat de Bohr: quantification du moment cinétique

$$L_n = m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar$$

Cas simple: atome hydrogénoïde:

1 seul électron de charge  $-e$  autour d'un noyau de charge  $+Ze$

Relation fondamentale de la dynamique appliquée à l'électron:

$$\text{force électrostatique} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} = m\gamma = m \frac{v^2}{r} \left( \gamma = \frac{v^2}{r} \text{ car mouvement circulaire} \right)$$

Avec le 2ème postulat de Bohr:

$$r_n = n^2 \frac{4\pi\epsilon_0}{Ze^2} \frac{\hbar^2}{m}$$

*m* masse de l'électron, *v* sa vitesse,  
*r* rayon de l'orbite de rotation de  
l'électron autour du noyau

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

Énergie de l'électron sur une orbite:  $E = E_{\text{cinétique}} + E_{\text{potentielle}}$

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-Ze^2}{r}$$

Soit 
$$E = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-Ze^2}{r} = \frac{1}{2} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{-Ze^2}{r}$$

Avec la quantification (n nombre entier):

$$E_n = -\frac{Z^2 E_0}{n^2}$$

Avec  $E_0$  énergie de Rydberg

$$E_0 = \frac{m}{2} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \hbar} \right)^2 = 13,6 \text{ eV} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} \quad (1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J})$$

$E_n$  énergie d'un électron tournant sur une orbite définie par le nombre entier n autour du noyau

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

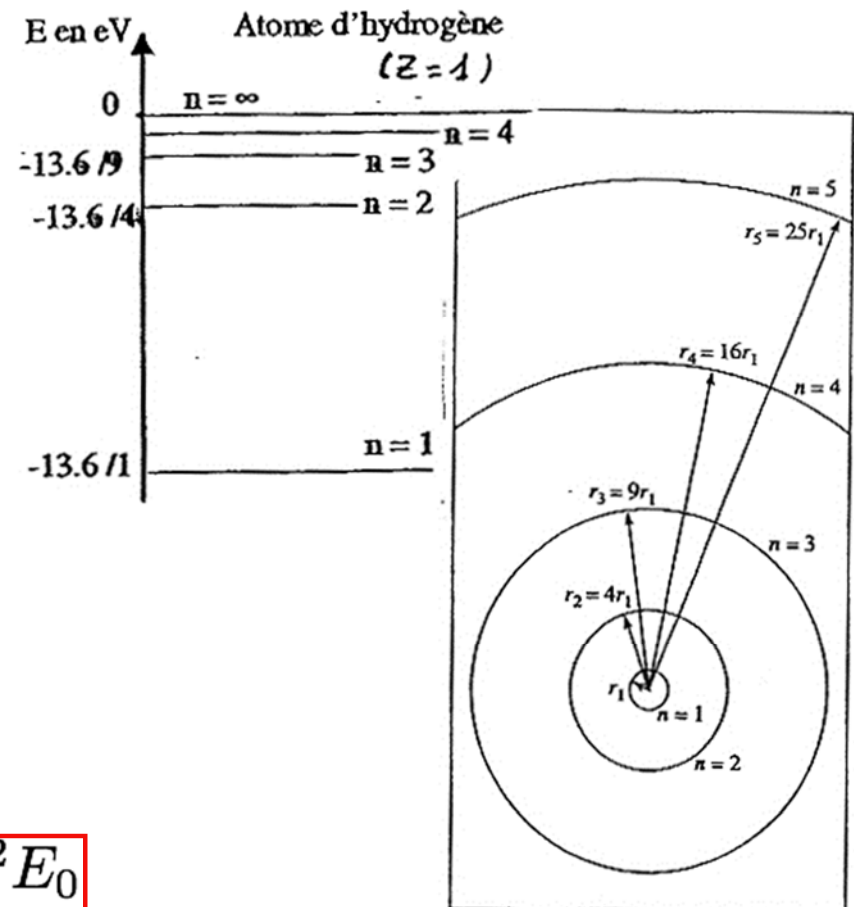
- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

$$r_n = n^2 \frac{a_0}{Z} \quad \text{avec } a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{e^2 m}$$

$a_0$  est le rayon fondamental de l'atome d'hydrogène

$$Z=1 \text{ et } n=1 \quad a_0 = 0,53 \text{ \AA}$$

$$E_n = -\frac{Z^2 E_0}{n^2}$$



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

Spectre atomique: la quantification permet d'expliquer les spectres atomiques

Les atomes peuvent être portés dans des états excités par chauffage, décharge électrique, flamme,...

Retour par émission de photons  
pour les atomes hydrogénoïdes les énergies sont calculées avec les relations vues ci-dessus

Passage d'une orbite  $p$  à une orbite  $q$  ( $p < q$ ) : absorption d'un photon d'énergie

$$E = E_q - E_p = Z^2 E_0 \left( \frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right) = h\nu$$

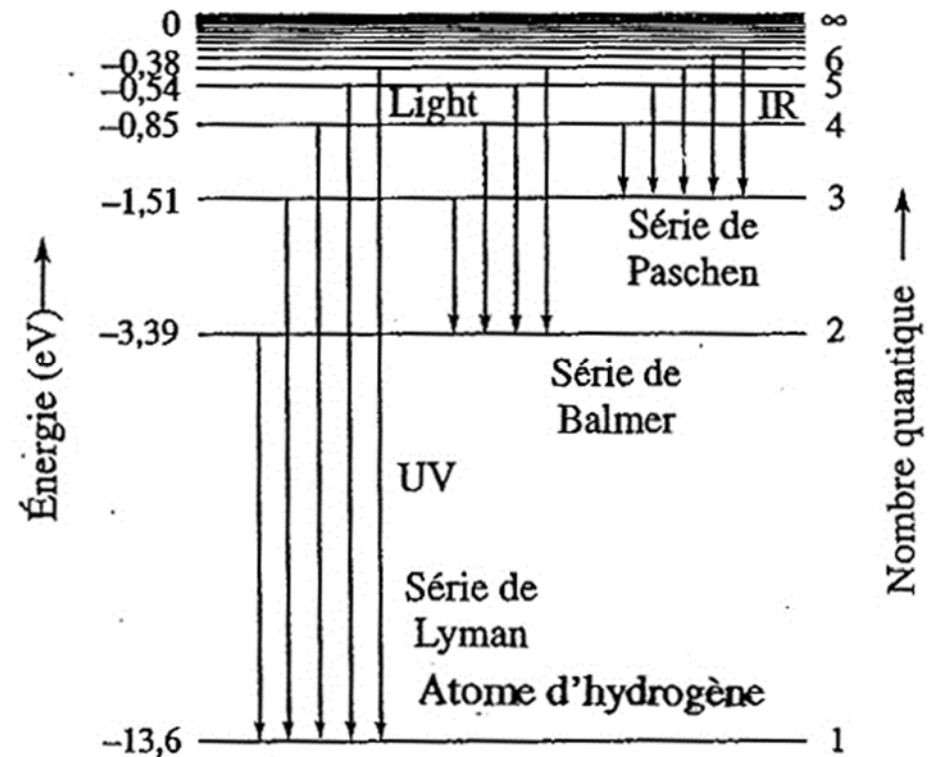
# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- L'atome de Bohr, les spectres atomiques

L'ensemble des transitions qui aboutissent à un même niveau final  $p$  est appelé série

$Z=1$ ,  $p=2$  série de Balmer



*Remarque:*

*le peuplement des niveaux excités se fait par absorption d'un photon qui a exactement l'énergie qui sépare les 2 niveaux*

*Si l'énergie est supérieure, il est possible d'arracher l'électron de l'atome (ionisation, voir effet photoélectrique)*

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- Exemple de spectres atomiques: la production des RX

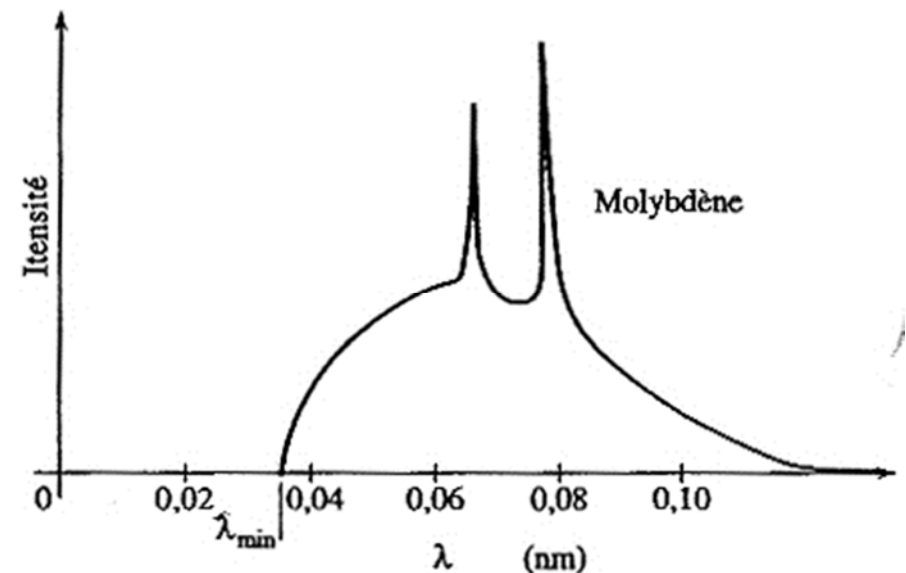
Photons de longueur d'onde  $\sim 1 \text{ \AA}$  (énergie 100 eV à 0,2 eV) découverts par hasard en 1895 par Röntgen

Production: électrons de grande vitesse (accélérés par ddp V de l'ordre de  $10^4$  à  $10^6$  V) bombardent une cible métallique

2 effets:

freinage : perte d'énergie- rayonnement continu  
(bremsstrahlung): spectre continu

Spectre de raies caractéristiques des atomes de la cible: **excitations d'électrons** des atomes des couches profondes (électrons les plus liés) appelées K, L, M,..et **émission de RX** lors de la désexcitation vers des niveaux d'énergie inférieure



Remarque: les générateurs de RX utilisés pour la radiographie RX sont basés sur ce principe et utilisent des cibles en molybdène ( $\lambda=0,08 \text{ nm}=0,8 \text{ \AA}$ , voir courbe) ou en cuivre ( $\lambda=0,15 \text{ nm}=1,5 \text{ \AA}$ ).

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 2. Description atomique

- Exemple de spectres atomiques: la production des RX

Transitions électroniques

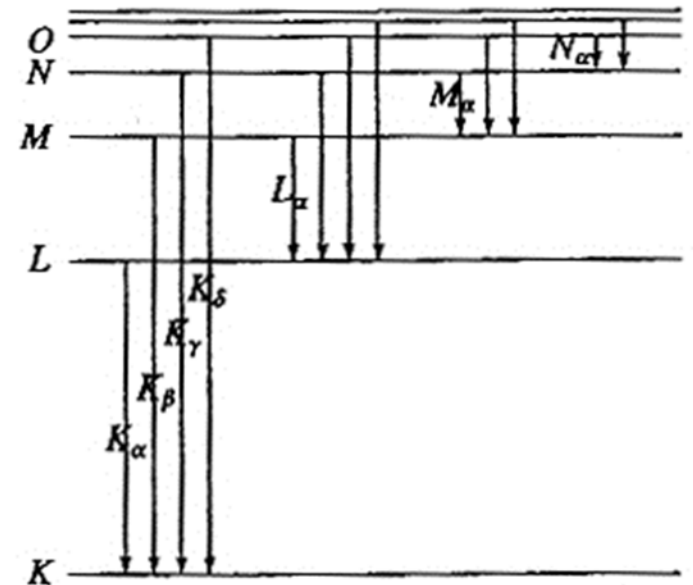
Les fréquences sont données par la loi de Moseley:  $\nu = \text{cte} (Z - 1)^2$

Peut s'écrire de façon analogue aux transitions atomiques

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{p^2} - \frac{1}{q^2} \right) \quad \text{avec} \quad R = (Z - 1)^2 \frac{E_0}{hC}$$

Oxygène	$E_{K\alpha} = 0,5 \text{ keV};$	$E_{L\alpha} = 0,03 \text{ keV}$
Calcium	$E_{K\alpha} = 4 \text{ keV};$	$E_{L\alpha} = 0,4 \text{ keV}$
Plomb	$E_{K\alpha} = 88 \text{ keV};$	$E_{L\alpha} = 15 \text{ keV}$

Remarque: la longueur d'onde donnée par la loi de Moseley est une sorte de généralisation de la loi expérimentale (dia12) pour les atomes hydrogénoïdes.



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 3. Structure du noyau

- Constitution de l'atome

- L'atome est neutre:      noyau charge + Ze                      et électrons charge -Ze

Le noyau est constitué de protons (charge +) et de neutrons (charge 0)

Les protons et les neutrons sont maintenus ensemble par une force nucléaire  
interaction forte:

courte portée (effet négligeable au delà de  $10^{-14}$  m)

Très intense:

2 protons distants dans le noyau de  $1,7 \cdot 10^{-15}$  m, force nucléaire 100 x la force de  
répulsion électrostatique

proton: $m_p \approx 1,6725 \cdot 10^{-27}$ kg	et	$q_p \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ C
neutron: $m_n \approx 1,6749 \cdot 10^{-27}$ kg	et	$q_n = 0$ C
électrons: $m_e \approx 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg	et	$q_e \approx -1,6 \cdot 10^{-19}$ C

$6 \cdot 10^{23}$  nucléons (protons et neutrons) représentent une masse d'environ 1g



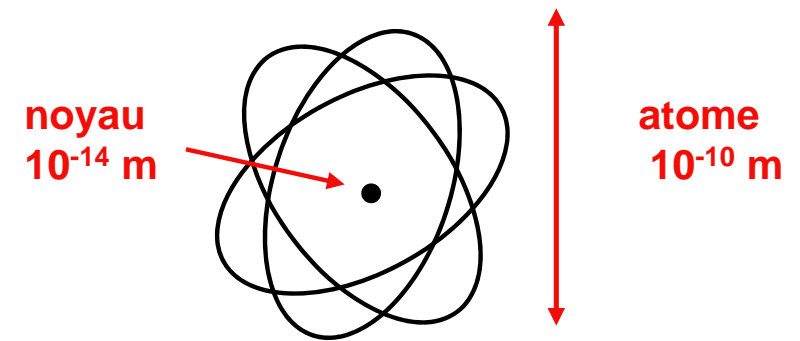
# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 3. Structure du noyau

- Le noyau est à peu près sphérique avec  $R \approx R_0 A^{1/3}$
- avec  $R_0 \approx 1,2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$  (1,2 fm *femto-mètre*) et A nombre de nucléons

Représentation symbolique:  
nuclide (ou nucléide) symbolisé par:

${}^A_Z X_N$  X symbole de l'élément chimique  
Z nombre de protons  
N nombre de neutrons  
A = Z+N nombre total de nucléons



Exemple:  ${}^{133}_{54}\text{Xe}_{79}$  ou  ${}^{133}_{54}\text{Xe}$

Remarque: masse  $m$  du noyau d'un atome de masse  $M$  est  $m \approx M - (\text{masse des } e^-)$   
On l'exprime en unité de masse atomique ( $u$ ):  
 $1 u = 1/12$  Masse atome  ${}^{12}\text{C} = 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 3. Structure du noyau

- Noyaux stables présents dans l'univers:

Noyaux légers:  $N=Z$

Noyaux lourds  $N>Z$  (pour contrebalancer la répulsion électrostatique entre protons)

Isotopes: même  $Z$ ,  $N$  différents

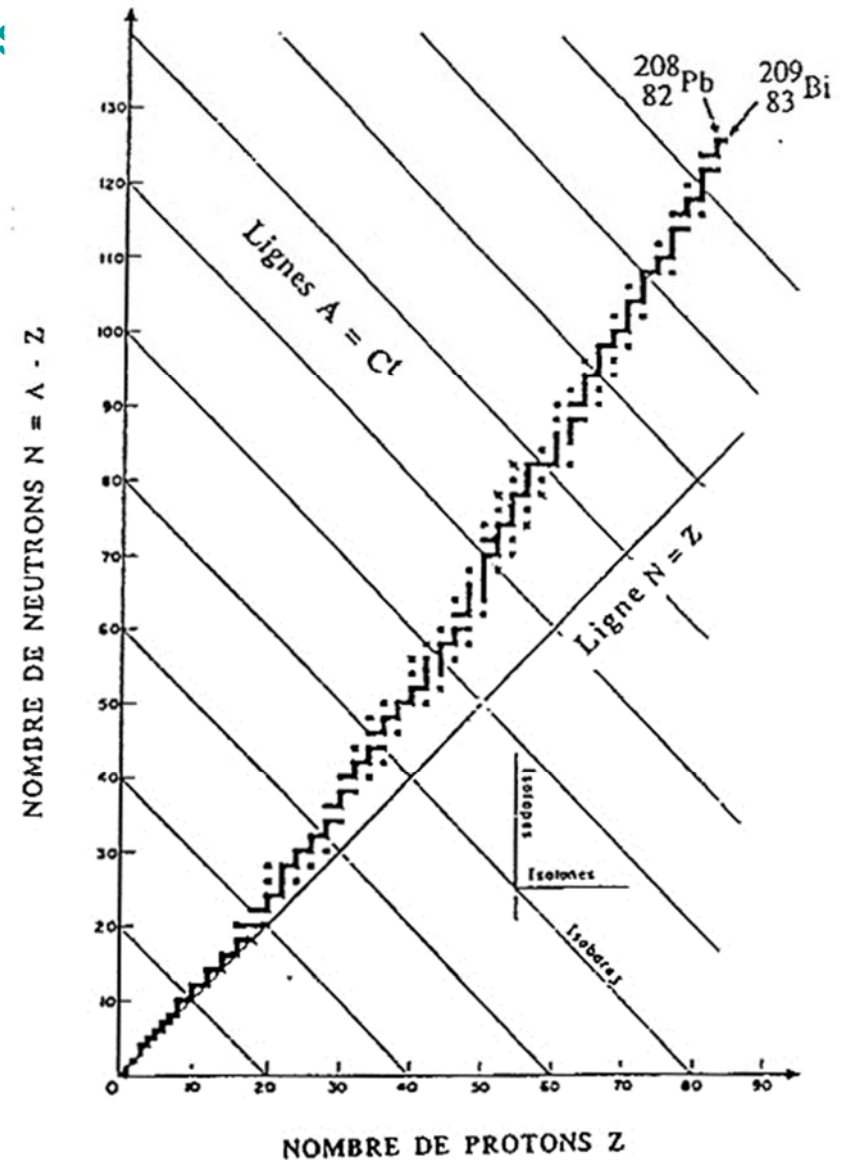
ex:  $^{16}_8\text{O}$  ,  $^{17}_8\text{O}$  ,  $^{18}_8\text{O}$

Isotones: même  $N$ ,  $Z$  différents

ex:  $^{15}_7\text{N}$  ,  $^{16}_8\text{O}$

Isobares: même  $A$ ,  $Z$  et  $N$  différents

ex:  $^{15}_7\text{N}$  ,  $^{15}_8\text{O}$



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 3. Structure du noyau

- Énergie de liaison des nucléons dans un noyau

Énergie à fournir pour séparer les différents nucléons constituant le noyau

Exemple: noyau d'Helium ( ${}^4_2\text{He}$ , particule  $\alpha$ ):

Existence d'un défaut de masse

Perte de masse lors de l'association (fusion) des deux p et deux n pour former 1  $\alpha$ :

$$m_{\alpha} - (2m_p + 2m_n) = \Delta m < 0 \quad (\text{masse finale} < \text{masse initiale})$$

À ce  $\Delta m$  est associé une variation d'énergie  $\Delta E$  du système donnée par la relation d'équivalence (Einstein,  $E = m C^2$ ):  $\Delta E = \Delta m C^2$

Synthèse d'une particule  $\alpha$  :  $\Delta m$  et  $\Delta E < 0$  donc état final plus stable

$|\Delta E|$  énergie de liaison  $W$  des composants du noyau,

énergie fournie par le système lors de la fusion ( $W \approx 28 \text{ MeV}$ )

Inversement, dissociation d'une particule  $\alpha$  nécessite de l'énergie

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

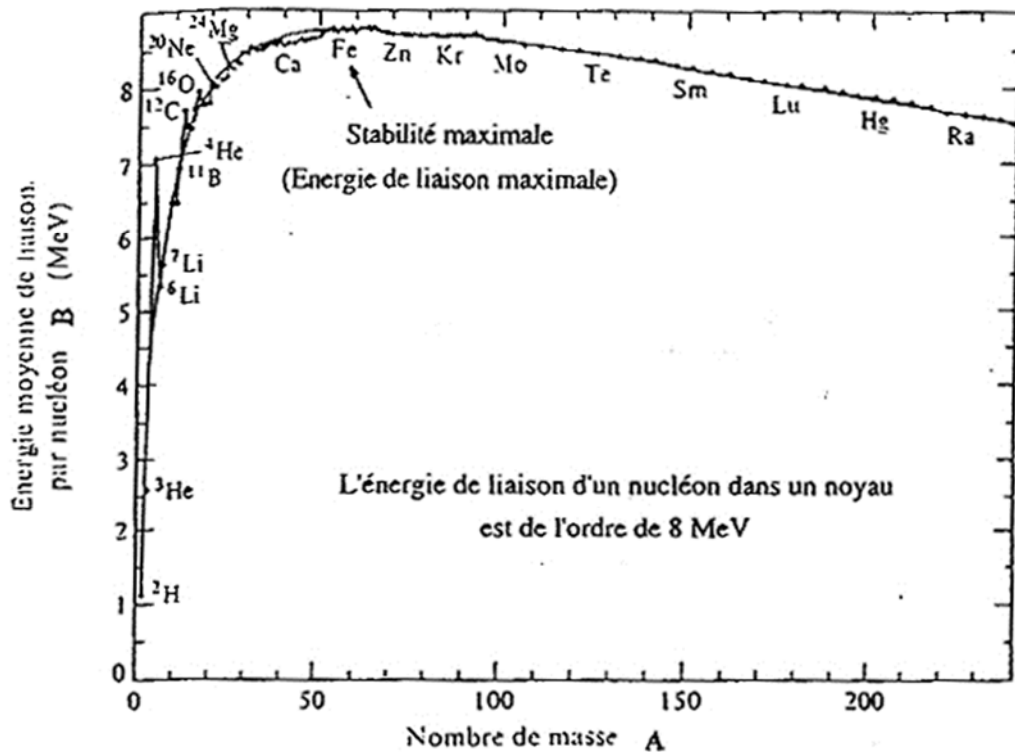
## 3. Structure du noyau

- Masse du noyau en équivalent énergie

La masse  $m$  du noyau  ${}^A_Z X_N$  s'écrira alors en équivalent énergie:

$$m_X C^2 = Z m_p C^2 + N m_n C^2 - W$$

Vérifier qu'avec  $C=2,997\ 925\ 10^8$  m/s, on a  $u C^2 = 931,5$  Mev



Rque: à partir de  $W$  on définit  
l'énergie moyenne par nucléon dans  
un noyau donné

$$B = W/A$$

Comme  $W, B > 0$

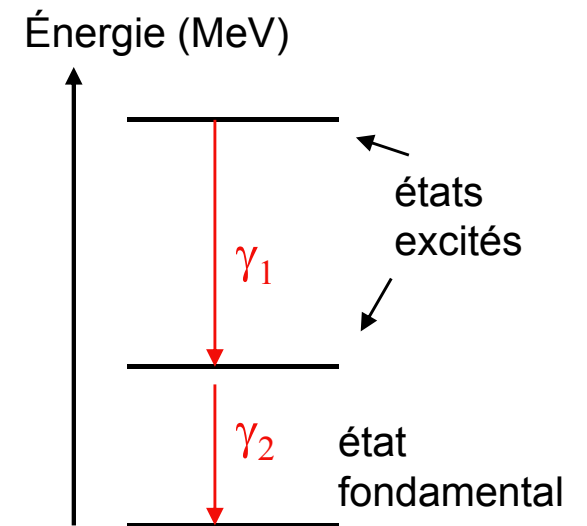
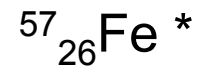
# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 3. Structure du noyau

- Les états excités du noyau

Un noyau dans un état excité revient naturellement vers état fondamental par émission de rayonnement  $\gamma$

Notation:

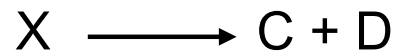


*remarque: énergie de liaison des nucléons est plus faible que dans l'état fondamental, donc masse du noyau dans l'état excité est plus grande que dans l'état fondamental*

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

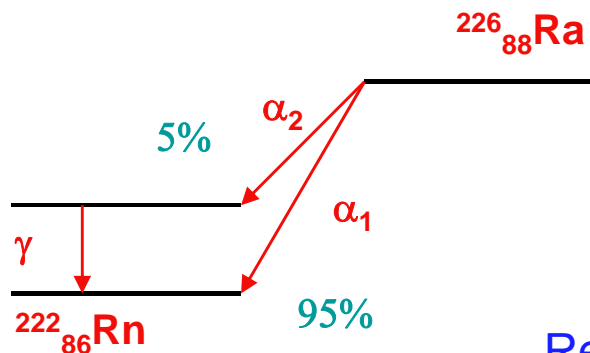
## 4. Désintégrations radioactives

Transformations nucléaires spontanées:



X noyau père, C et D particules matérielles, + produits sans masse (photons, neutrinos,...)

Désintégration  $\alpha$  le noyau expulse une particule  $\alpha$



Exemple: désintégration du radium (noyau père) en radon (noyau fils)  
2 possibilités: passage par un état excité du radon

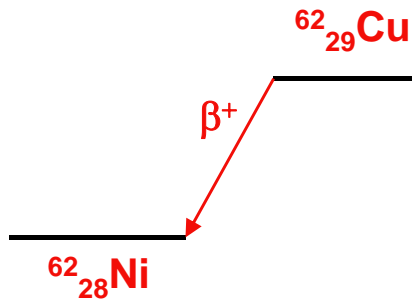
Remarque: les neutrinos ont une masse très faible et de façon approximative, on considère qu'il s'agit d'un produit sans masse.

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

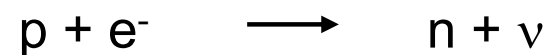
## 4. Désintégrations radioactives

### Désintégration $\beta^+$

le noyau expulse un positon (particule de charge  $+e$  et même masse que électron)



Remarque: processus presque toujours en compétition avec un autre processus: capture électronique:



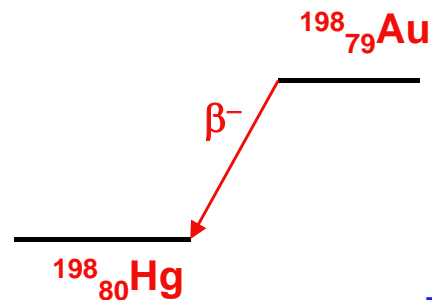
$\nu$  (lettre grecque « nu ») représente un neutrino

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 4. Désintégrations radioactives

### Désintégration $\beta^-$

le noyau expulse un électron (revient à la transformation d'un neutron du noyau en proton), s'accompagne de l'émission d'un antineutrino (particule sans masse)



Remarque: de même que le neutrino, la masse de l'antineutrino est très faible et de façon approximative considérée comme nulle



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 4. Désintégrations radioactives

### Fission spontanée

Cas de noyaux très lourds ( $A > 230$  et  $Z > 90$ ), car compétition entre force nucléaires attractives et forces électrostatiques répulsives conduit à l'instabilité des noyaux. Noyau « père » donne 2 noyaux « fils » + quelques neutrons, les noyaux « fils » sont eux-mêmes radioactifs (émissions  $n$  et  $\beta^-$ ) car trop riches en neutrons



$R_1$  et  $R_2$  noyaux résiduels

# VIII - Le noyau

## et les réactions nucléaires

### 4. Désintégrations radioactives

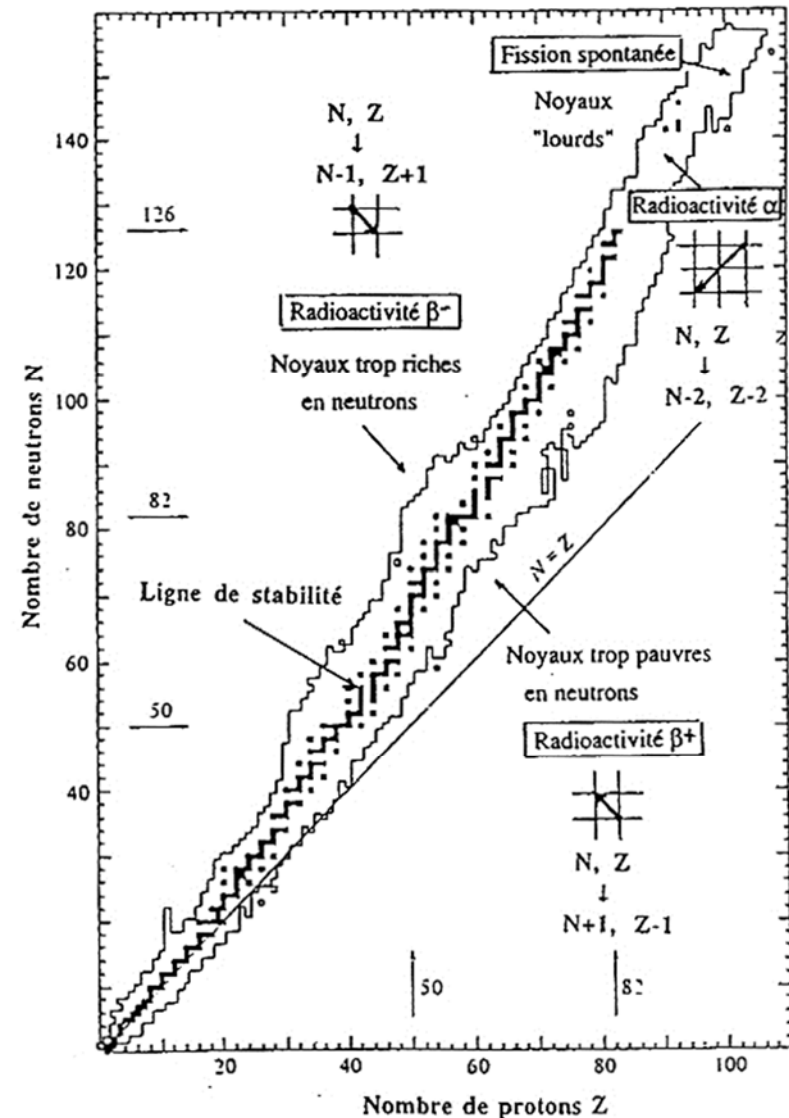
#### Résumé

Toutes ces réactions sont caractérisées par un bilan d'énergie de masse négative (perte de masse)

Les noyaux « fils » ont une énergie de liaison moyenne  $B >$  à celles des noyaux « pères »

retour vers la ligne de stabilité

Si le noyau « fils » est dans un état excité, retour vers l'état fondamental:  
émission de photons  $\gamma$   
conversion interne  
cascade successive (RX)  
transfert de l'énergie à 1 autre  $e^-$  qui sera éjecté (électron Auger)



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 5. Réactions nucléaires induites

Elles correspondent à la collision entre 2 noyaux X et Y



Fission nucléaire induite par neutrons lents:

Neutron n lent capté par un noyau « fissile » X:



F1 et F2 emportent sous forme d'énergie cinétique la plupart de l'énergie de masse libérée par la fission: énergie récupérée sous forme de chaleur.

Les neutrons sont ralentis et peuvent induire de nouvelles fissions (réaction en chaîne), ex: centrale nucléaire



libère 183,7 MeV pour chaque fission de  ${}^{236}_{92} \text{U}^*$

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 5. Réactions nucléaires induites

### Fusion nucléaire des noyaux légers:

Type de réactions qui interviennent dans la nucléosynthèse stellaire

Exemple synthèse d'un noyau  ${}^4_2\text{He}$  à partir de noyaux  ${}^1_1\text{H}$

Chaîne proton-proton, libère 24,7 MeV à chaque fois que sont brûlés 4 noyaux  ${}^1_1\text{H}$

### Principe des futurs réacteurs à fusion

Nécessite des températures de plusieurs centaines de millions de degrés pour permettre aux 2 noyaux ( $>0$ ) de vaincre la répulsion électrostatique



libère 17,59 MeV à chaque création de noyau  ${}^4_2\text{He}$

${}^1_1\text{H}$  proton ou noyau de H,  ${}^2_1\text{H}$  isotope de H appelé deuterium,  ${}^3_1\text{H}$  isotope de H appelé tritium

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

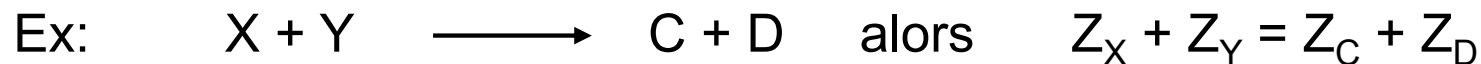
## 5. Réactions nucléaires induites

### Remarque

Dans toutes les réactions ou désintégrations mentionnées ici, les lois de conservation sont toujours vérifiées:

conservation de l'énergie totale

conservation de la charge électrique



conservation de la quantité de mouvement totale

conservation du nombre de nucléons



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 6. Loi de décroissance radioactive

À l'instant  $t$ , nombre d'une espèce donnée est  $N(t)$   
La variation  $dN(t)$  pendant  $dt$  est proportionnelle à  $N(t)$  et à  $dt$ :

$$dN(t) = -\lambda N(t) dt$$

$\lambda$  ( $s^{-1}$ ) est la constante radioactive de l'espèce considérée  
probabilité pour le noyau de se désintégrer pendant l'unité de temps

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

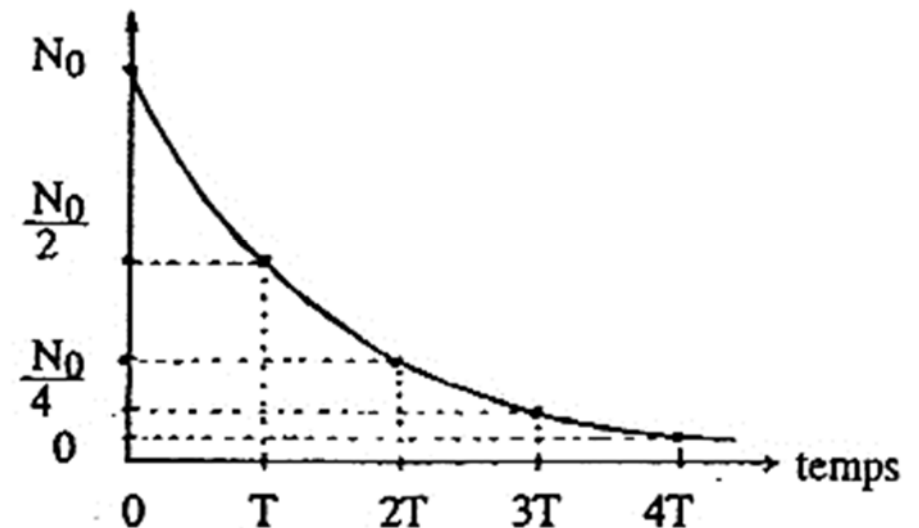
période radioactive:

$$N(t) = N_0/2 = N_0 \exp(-\lambda T)$$

d'où  $T = \ln 2 / \lambda = 0,693/\lambda$

Vie moyenne  $\tau = 1/\lambda$

Nombre  $N(t)$  de noyaux présents au temps  $t$



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 6. Loi de décroissance radioactive

### Activité d'une source radioactive

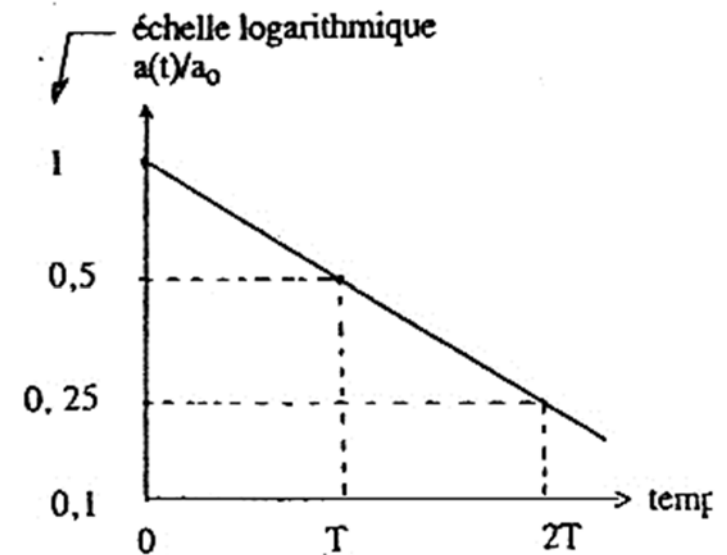
Nombre de désintégration que l'on aura par dt:

$$a(t) = \lambda N(t) = a_0 \exp(-\lambda t)$$

où  $a_0 = \lambda N_0$       activité à  $t=0$

activité  $a$  s'exprime en Becquerel (Bq: nombre de désintégration par seconde)

ancienne unité le Curie (Ci): activité de 1g de Radium =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq



# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## 6. Loi de décroissance radioactive

### Exemple

Production de l'isotope radioactif de l'iode  $^{123}_{53}\text{I}$  :

2 possibilités: à partir du bombardement avec des protons de  $^{124}_{52}\text{Te}$

à partir du bombardement avec des particules  $\alpha$  de  $^{121}_{51}\text{Sb}$

Dans les 2 cas, neutrons comme sous-produits



$^{123}_{53}\text{I}$  se désintègre par capture électronique en  $^{123}_{52}\text{Te}$  avec une période de 13,3 heures:

$$^{123}_{53}\text{I} + {}^0_{-1}\text{e} \longrightarrow ^{123}_{52}\text{Te}$$



# VIII - Le noyau

## et les réactions nucléaires

### 6. Loi de décroissance radioactive

#### Exemple

Pour leurs expériences Pierre et Marie Curie avaient extrait 200 g de radium  
Combien en reste-t-il maintenant ?

La constante radioactive  $\lambda$  vaut:

$$\lambda = 1,36 \cdot 10^{-11} \text{ s}^{-1} \text{ d'où la période } T = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \sim 0,5 \cdot 10^{11} \text{ s}$$

la décroissance du nombre de noyaux radioactifs est exponentielle, la décroissance de la masse de matière radioactive suit donc la même loi de décroissance (la masse est proportionnelle au nombre de noyaux)

$$m(t) = m(0) \exp -\lambda t \quad \text{avec } t=100 \text{ ans} \quad m(t) = m(0) \exp -0,04$$

$$\text{or } \exp -\varepsilon \sim 1 - \varepsilon \text{ si } \varepsilon \ll 1, \text{ donc } m(t) = 200 \times 0,96 = 192 \text{ g}$$

# VIII - Le noyau et les réactions nucléaires

## Résumé des notions importantes

- Description Caractéristiques (charge, ordre de grandeur des masses et des dimensions) des constituants de l'atome
- Le modèle de Bohr : postulat de départ, conséquences pour les niveaux d'énergie, expression de  $E_n$
- Principe de production des RX
- Représentation des noyaux (avec  $A$ ,  $Z$ ,  $N$ )
- Courbe de stabilité des noyaux, Énergie de liaison des nucléons, défaut de masse
- Différents types de désintégrations nucléaires spontanées et de réactions nucléaires induites
- Loi de décroissance radioactive (constantes, activité d'une source, unité)

# Exercices

- **Exercice 1**

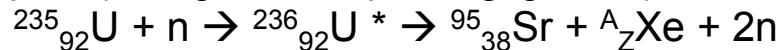
- Donner l'expression donnant les niveaux d'énergie de l'ion  $\text{He}^+$  dans le modèle de Bohr. Quelle est la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique émis dans la transition entre les états  $n = 8$  et  $p = 2$  ? À quel domaine spectral correspond ce rayonnement ? Sous quelle tension faut-il accélérer un électron pour qu'il puisse ioniser un ion  $\text{He}^+$  dans l'état fondamental ?

- **Exercice 2**

- Le radon (Rn) gaz radioactif est produit par la désintégration alpha du radium présent dans les roches granitiques. Écrire la réaction correspondante. Sachant que les masses des noyaux de radium, de radon et d'hélium, exprimés en unités de masse atomique (u), sont respectivement 226,0254 u ; 222,0176 u et 4,0026 u et que l'énergie cinétique des produits de réaction est en quasi-totalité emportée par la particule légère, en déduire l'ordre de grandeur en eV de l'énergie des particules alpha.

- **Exercice 3**

- La fission de l'uranium est obtenue en bombardant les noyaux de  $^{235}\text{U}$  avec des neutrons thermiques (énergie cinétique négligeable). L'une des réactions possibles est :



- Préciser les valeurs de A et Z du noyau Xe. Sachant que les énergies moyennes de liaison par nucléon sont de 7,5 MeV pour  $^{235}\text{U}$ , 8,5 MeV pour  $^{95}\text{Sr}$  et 8,2 MeV pour  $^A\text{Xe}$ , vérifier que l'énergie libérée par la fission de  $^{235}\text{U}$  est voisine de 185 MeV. En déduire l'énergie exprimée en Joule que peut fournir la fission de 1kg d'uranium. Si cette énergie pouvait être complètement transformée en énergie électrique disponible pour un appareil parcouru par un courant de 10 A délivré sous une tension de 250 V, pendant combien de temps cet appareil pourrait-il fonctionner ? Quelle masse d'eau chutant de 1000 m fournirait la même énergie ?

# Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'université Joseph Fourier de Grenoble.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits en 1<sup>ère</sup> année de Médecine ou de Pharmacie de l'Université Joseph Fourier de Grenoble, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.