

# La physique nucléaire

La radioactivité

1

## Points essentiels

- ❖ Historique de la radioactivité
- ❖ La désintégration alpha
- ❖ L'effet tunnel (section facultative)
- ❖ La désintégration bêta
- ❖ La désintégration gamma

2

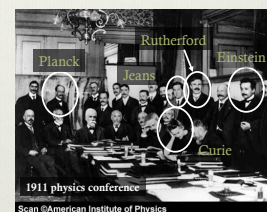
## Historique

- Marie Curie et son époux Pierre ont réussi par des moyens chimiques à isoler deux nouveaux éléments radioactifs:
- Polonium (en juillet 1898)
- Le radium (en décembre 1898)
  - On s'aperçut que la température, la pression ou l'état chimique n'avaient pas d'effet sur la radioactivité.
  - Il devenait clair que la radioactivité était due à un processus inconnu qui se produisait à l'intérieur des atomes.



## Historique

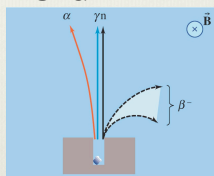
- Marie Curie et son époux Pierre ont réussi par des moyens chimiques à isoler deux nouveaux éléments radioactifs:
- Polonium (en juillet 1898)
- Le radium (en décembre 1898)
  - On s'aperçut que la température, la pression ou l'état chimique n'avaient pas d'effet sur la radioactivité.
  - Il devenait clair que la radioactivité était due à un processus inconnu qui se produisait à l'intérieur des atomes.



4

## L'expérience de Rutherford

En 1899, E. Rutherford décida de classer les émissions radioactives issues des nucléides instables en fonction de leur charge et de leur puissance de pénétration.



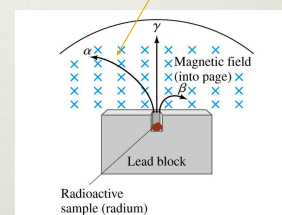
Quatre types d'émissions radioactives. Les particules alpha sont des noyaux d'hélium positifs, les particules bêta sont des électrons négatifs. Les rayons gamma sont des photons de haute énergie et les neutrons ne possèdent aucune charge.

5

## Les types d'émission radioactives

Les particules  $\alpha$  sont arrêtées par une simple feuille de papier (charge positive)

En 1899, E. Rutherford décida de classer les émissions radioactives en fonction de leur charge et de leur puissance de pénétration.



Radioactive sample (radium)

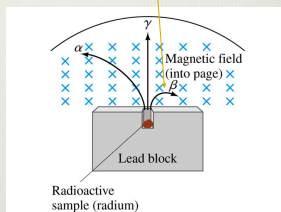
alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ )

6

## Les types d'émission radioactives

Les particules  $\beta^-$  peuvent pénétrer 3 mm dans l'aluminium (charge négative)

En 1899, E. Rutherford décida de classer les émissions radioactives en fonction de leur charge et de leur puissance de pénétration.

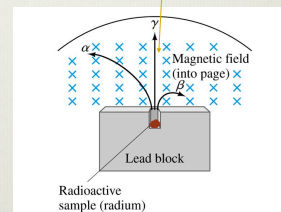


alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) 7

## Les types d'émission radioactives

Les rayons  $\gamma$  peuvent traverser plusieurs cm de plomb (non chargé)

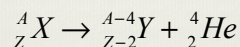
En 1899, E. Rutherford décida de classer les émissions radioactives en fonction de leur charge et de leur puissance de pénétration.



alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ), gamma ( $\gamma$ ) 8

## La désintégration $\alpha$

Équation générale de la désintégration  $\alpha$

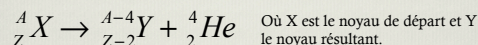


- ❖ La plupart des désintégrations  $\alpha$  se produisent avec des nuclides pour lesquels  $A$  est supérieur à 200.
- ❖ La plupart des particules  $\alpha$  possèdent une grande énergie (MeV).
- ❖ Il paraît étrange qu'un noyau émette une particule  $\alpha$ , plutôt que des neutrons ou des protons (énergie de liaison)

9

## La désintégration $\alpha$

- ❖ Lorsqu'un noyau émet une particule  $\alpha$ , la charge du noyau résultant est inférieur de  $2e$
- ❖ Son nombre de masse  $A$  est inférieur de quatre unités
- ❖ Le numéro atomique,  $Z$ , décroît de 2
  - ❖ (Un autre élément est formé)



10

## La désintégration $\alpha$

- ❖ L'énergie libérée au cours d'une désintégration quelconque est appelée **énergie de désintégration** et est désignée par la lettre  $Q$

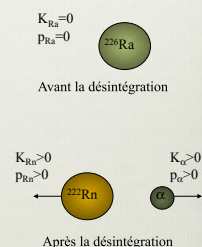
$$Q = (m_X - m_Y - m_{\text{He}})c^2$$

Où X est le noyau de départ et Y le noyau résultant. Les masses sont celles des atomes neutres.

11

## La désintégration $\alpha$

- ❖ La désintégration  $\alpha$  du radium
- ❖ Le noyau du radium est initialement au repos
- ❖ Après la désintégration, le noyau de radon et la particule alpha ont acquis de l'énergie cinétique
- ❖ Dans cet exemple environ 4,87 MeV  
Voir exemple 12.4



12

## Exemple 12.4

- ❖ Masse avant la désintégration

Masse du  $^{226}_{88}\text{Ra} = 226,025\,402\,u$

- ❖ Masse après la désintégration

Masse du  $^{222}_{86}\text{Rn} = 222,017\,570\,u$

Masse de  $^4_2\text{He} = 4,002\,603\,u$

Masse totale après =  $226,020\,173\,u$

- ❖ Défaut de masse

Masse avant - Masse totale après

$226,025\,402\,u - 226,020\,173\,u = ,005\,229\,u$

13

## Exemple 12.4 (suite)

- ❖ Calcul du défaut de masse en  $\text{MeV}/c^2$

$$0,005\,229\,u \times \frac{931,5\,\text{MeV}/c^2}{u} = 4,87\,\text{MeV}/c^2$$

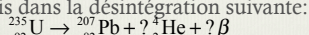
- ❖ Calcul de l'énergie de désintégration alpha

On utilise:  $E = mc^2$  et on obtient:  $4,87\,\text{MeV}$

14

## Exercice 27

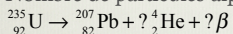
- ❖ Combien de particule alpha et d'électrons sont émis dans la désintégration suivante:



- ❖ Nombre de nucléons de libérés:

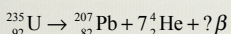
$$235 - 207 = 28$$

- ❖ Nombre de particules alpha:



$$28\,\text{nucléons} + 4\,\text{nucléons/particule alpha} \Rightarrow 7\,^4_2\text{He}$$

- ❖ Nombre d'électrons:



Nbre de charges positives avant: 92

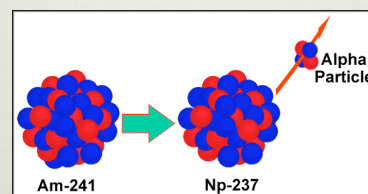
Nbre de charges positives après: 96

Surplus de 4 charges positives  $\Rightarrow$  Émission de  $4\beta^-$

15

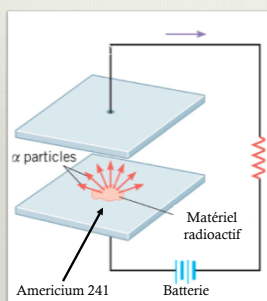
## La désintégration de l'américium-241

La plupart des détecteurs de fumée contiennent une petite quantité d'une source de particule alpha: l'américium-241. Cet isotope est extrêmement dangereux s'il est inhalé ou ingéré mais le danger est minime si la source reste scellée.



16

## Les détecteurs « radioactifs »



Deux chambres d'ionisation sont disposées en série: l'une servant de témoin, l'autre, grillagée, en contact avec l'air ambiant. Dans chacune de ces chambres, une petite source de quelques KBq de  $^{241}\text{Am}$  donne naissance à un courant constant. Si des particules de fumée pénètrent dans la chambre ouverte, elles entraînent une variation du courant qui déclenche un signal d'alarme.

17

## L'effet tunnel pour les particules $\alpha$

### Question:

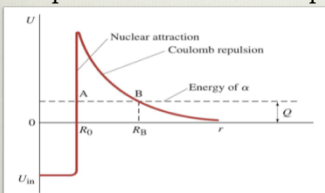
Pourquoi tous les noyaux qui peuvent émettre une particule  $\alpha$  ne le font-ils pas ?

18

## L'effet tunnel pour les particules $\alpha$

### Question:

Pourquoi tous les noyaux qui peuvent émettre une particule  $\alpha$  ne le font-ils pas ?



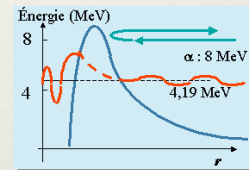
**Réponse:** Parce qu'il existe une barrière provenant de la répulsion coulombienne.

19

## Effet tunnel pour le thorium

Le noyau d'uranium 238 correspond à un noyau de thorium 234 auquel on viendrait ajouter une particule  $\alpha$  avec une énergie de 4,19 MeV. C'est trop peu d'énergie pour passer la barrière de potentiel.

Classiquement, il ne peut y avoir émission d' $\alpha$  ainsi piégé.

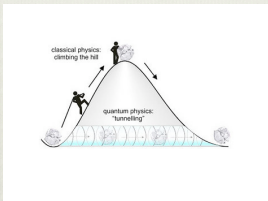


En mécanique ondulatoire, GAMOV (1928) et GURNEY et CONDON, indépendamment, ont proposé l'*effet tunnel*. La probabilité de l'émission dépend de la hauteur et de la largeur de la barrière de potentiel (figure 15.3).

20

## L'effet tunnel pour les particules $\alpha$

Bien que son énergie soit inférieure à la hauteur de la barrière, la particule alpha est capable de traverser la barrière par effet Tunnel.

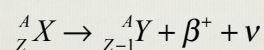
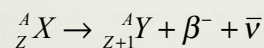


Cette explication donnée en 1928, fut l'un des plus grands succès de la mécanique quantique.

21

## La désintégration $\beta$

L'équation générale de la désintégration  $\beta$



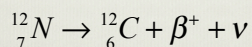
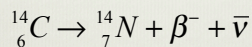
- La désintégration  $\beta$  fait intervenir l'émission d'électrons ou de positons.
- Énergie : de 10 keV à 2 MeV

22

## La désintégration $\beta$

❖ Les électrons ou positons créés dans ce processus radioactif sont d'origine nucléaire.

❖ Voici deux exemples classiques

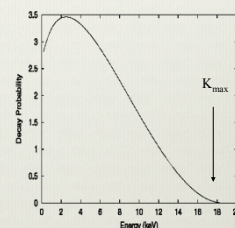


23

## La désintégration $\beta$

❖ S'il on tient compte du recul du noyau  ${}^{14}_7 N$ , l'énergie de la particule  $\beta$  doit être voisine de 156 keV.

❖ Pourtant, lorsqu'on mesure les énergies des particules  $\beta$  on obtient la courbe représentée ci-contre.



❖ La loi de la conservation de l'énergie semble violée !!

24

## La désintégration $\beta$

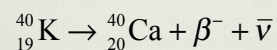
- ❖ Dans les années 20, on était porté à croire que la loi de la conservation de l'énergie ne s'appliquait pas à la désintégration  $\beta$ .
- ❖ En 1930, W. Pauli suggéra l'existence d'une particule neutre très légère (peu-être sans masse) qui transportait l'énergie manquante; le neutrino  $\nu$
- ❖ Les propriétés du neutrino
  - ❖ Charge électrique nulle
  - ❖ Très petite masse
  - ❖ Possédant un spin  $\frac{1}{2}$
  - ❖ Son interaction avec la matière ordinaire est si faible qu'il peut traverser la Terre sans une seule interaction.

25

## Exercice 39

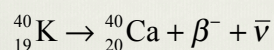
Quelle est, en électronvolts, l'énergie libérée dans la désintégration  $\beta^-$  du  $^{40}\text{K}$  ?

Voici la réaction de cette désintégration:



26

## Exercice 39 (suite)



Masse avant: 39,963 999 2 u

Masse après: 39,962 590 6 u (étant donné que l'on calcule atomique, on ne doit pas additionner la masse de la particule  $\beta^-$ ).

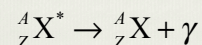
Défaut de masse:  $1,40860 \times 10^{-3} \text{ u} = 1,31211 \text{ MeV}/c^2$

Soit  $Q = 1,31211 \text{ MeV}$

27

## Le rayonnement $\gamma$

Équation générale pour le rayonnement  $\gamma$

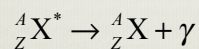


- Les rayons  $\gamma$  qui sont des photons de haute énergie, sont produits au cours des transitions des noyaux entre divers niveaux d'énergie.

28

## Le rayonnement $\gamma$

- ❖ Les rayons gamma sont en général émis peu après une désintégration  $\beta$  ou  $\alpha$  ou lorsqu'un noyau a été porté à un état excité à la suite d'une collision.
- ❖ On peut mesurer leurs énergies (allant de 1keV à quelques MeV) par absorption, par diffraction sur des cristaux.



- ❖  $\text{X}^*$  signifie un état excité

29

## Un vieux souvenir.....

Irradié par des rayons Gamma, lors des moments de stress, Bruce Banner se change en Hulk

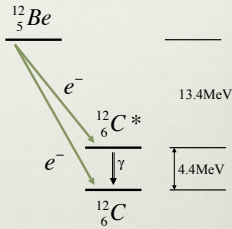


30

## Le rayonnement $\gamma$

### ❖ Exemple:

- ❖ Le noyau  $^{12}\text{B}$  peut se désintégrer vers l'état fondamental du  $^{12}\text{C}$  par une émission  $\beta$  ou vers un état excité  $^{12}\text{C}^*$
- ❖ Le noyau excité retourne ultérieurement à son état fondamental par l'émission d'un rayon  $\gamma$  de 4,4 MeV



31

## Travail personnel

- ❖ Faire l'exemple 12.4
- ❖ Répondre aux questions: 15, 16, 19 et 20
- ❖ Faire les exercices 27 et 39.
- ❖ Aucun problème

32