

LA REACTION NUCLEAIRE

I- Généralité :

On parle de **réaction nucléaire** lorsqu'une des **propriétés** ou des **quantités caractéristiques** d'un **noyau atomique** (par exemple : le **numéro atomique** ou le **nombre de masse**) varient.

Quand le processus est « **spontané** » on parle de **radioactivité**, le terme de réaction nucléaire étant plutôt réservé aux processus induits par des particules venant interagir avec le **noyau**.

Pour que l'interaction entre le noyau et la particule soit de **type nucléaire** (et non pas **électrostatique**), il faut que la distance d'approche soit de l'ordre du rayon d'action des forces nucléaires, c'est-à-dire environ **10⁻¹⁵ m**.

A la fin du processus, le noyau peut se retrouver dans la situation initiale (on parle alors de **choc élastique**), ou dans un état différent (**variation de masse**, **d'énergie cinétique**, de **charges**, etc.) : on a alors une réaction nucléaire.

La première observation d'une réaction nucléaire est due à **E. Rutherford (1919)** qui exposa un gaz à basse pression aux particules **α** d'une source radioactive.

D'autres réactions furent par la suite engendrées par d'autres types de particules ; l'usage des **accélérateurs** permet aujourd'hui d'observer des phénomènes jusqu'alors irréalisables avec des projectiles d'énergie limitée.

Quand les particules destinées à produire les réactions nucléaires sont chargées positivement (**protons**, **particules α**, **deutons**, etc.), il faut alors donner assez d'énergie à la particule incidente pour qu'elle puisse vaincre la **barrière de potentiel** créée par le noyau (cette barrière de potentiel est en fait due à la répulsion électrostatique, ou **force de Coulomb**, entre la particule et le noyau).

La particule la plus adaptée semble être le **neutron** qui, privé de charge électrique, peut atteindre le noyau sans ressentir de répulsion électrostatique ; même les neutrons de basse énergie peuvent produire des réactions nucléaires.

II- Caractéristiques :

La classification fondamentale des réactions nucléaires repose sur la considération de l'énergie échangée lors des réactions.

On distingue les **réactions exothermiques** des **réactions endothermiques**, selon la **quantité** :

$$Q = (m_f + M_f - m_i - M_i) c^2$$

est positive ou négative, m_f et M_f étant les masses des produits finaux, m_i et M_i celles des produits initiaux et c la **vitesse** de la **lumière** ; seules les premières peuvent être utilisées, comme dans un réacteur nucléaire, pour produire de l'**énergie**.

Au cours des réactions nucléaires, certaines quantités physiques (**charge, énergie totale, moment cinétique**, etc.) restent globalement constantes, et les **principes de conservation** dictent alors quelles sont les réactions possibles.

La conservation de la charge électrique implique que la somme des charges électriques soit identique avant et après l'**interaction**.

La conservation de l'énergie implique que la somme des énergies de toutes les particules reste constante au cours de la réaction (par contre, l'énergie cinétique peut se transformer en énergie de masse et réciproquement).

La conservation du nombre baryonique implique que le nombre total de nucléons reste constant (mais, par exemple, les protons peuvent se transformer en neutrons et réciproquement).

La conservation du moment cinétique (ou **moment angulaire**) implique que la somme des **moments cinétiques orbitaux** et **moments cinétiques de spin** reste constante (mais il peut y avoir échange entre le moment cinétique orbital et le spin).

Un principe de conservation un peu particulier est celui de **conservation de la parité** : cette grandeur, concernant l'**inversion** des coordonnées spatiales qui décrivent la particule (c'est-à-dire sa **fonction d'onde**).

Une grandeur fondamentale pour la description des réactions nucléaires est la section efficace qui définit la probabilité de capture d'une particule par le noyau. Si N **particules** incidentes donnent lieu à P **réactions** d'un type donné, la section efficace nucléaire σ pour la réaction considérée est :

$$\sigma = P/Nn \text{ où } n \text{ est le nombre de noyaux considérés.}$$

III- Mécanismes de réaction :

Les réactions nucléaires sont, comme toutes les autres interactions, décrites en termes d'échange de particules (une interaction forte équivaut l'échange de **1 méson**).

Un premier type de réaction est celui de la **diffusion élastique** au cours de laquelle la **particule incidente** est simplement déviée par le noyau.

On a **diffusion inélastique** lorsqu'il y a échange d'énergie entre la particule incidente et le noyau.

Ainsi, lors d'une diffusion inélastique, le noyau peut passer de l'état fondamental à un état excité, puis émettre un photon pour retourner à l'état fondamental.

Toutefois, dans **les deux cas**, les particules incidentes n'interagissent pas directement avec le noyau, mais seulement avec son champ électrostatique.

Quand les particules (**chargées**) ont une énergie suffisante pour vaincre la répulsion électrostatique, elles peuvent pénétrer dans le noyau ou, en tout cas, entrer en contact avec lui et modifier ainsi sa **structure**.

La vie moyenne du noyau composé est de l'ordre de **10^{-16} s**, temps beaucoup plus long que celui nécessaire à la particule pour le traverser.

L'**hypothèse de Bohr** explique une grande partie des réactions nucléaires, mais certaines d'entre elles sont cependant mieux décrites par le **modèle de l'interaction directe**. Dans ce modèle, la particule incidente au lieu de se combiner au noyau, n'interagit qu'avec quelques nucléons placés « n surface » ; le temps requis pour ce type d'interaction est de l'ordre de **10^{-22} s**.

Un exemple d'interaction directe est donné par l'interaction du deuton avec un noyau : quand le deuton passe à proximité du noyau, un de ses nucléons (le proton ou le neutron) est capturé par le noyau ; l'autre, étant repoussé, constitue alors un produit de réaction.