

réaction nucléaire

Une réaction nucléaire est le processus au cours duquel un ou plusieurs noyaux atomiques sont transformés pour donner des noyaux de masse et/ou de charge différentes. Elle se distingue d'une réaction chimique, qui ne concerne que les électrons ou les liaisons entre les atomes. La réaction chimique conserve les éléments chimiques, alors que la réaction nucléaire transforme un nucléide en un autre.

La plupart des réactions nucléaires impliquent l'interaction de deux noyaux ou particules ; certains processus comme la fission spontanée des noyaux lourds ou les radioactivités (alpha, beta et gamma) concernent des noyaux isolés. Le terme « réaction nucléaire » peut donc désigner soit une modification d'un nucléide induite par collision avec une autre particule, soit une modification spontanée d'un noyau sans collision.

Il existe une très grande variété de réactions nucléaires, qui sont soit des processus spontanés comme la désintégration radioactive du radium observée par Marie Curie, soit des processus provoqués, tels la fusion nucléaire à l'œuvre dans la nucléosynthèse stellaire, la fission de l'uranium dans les centrales électriques ou les collisions de noyaux dans les accélérateurs de particules.

Histoire des réactions nucléaires

La première observation d'une transformation d'un noyau atomique en un autre a été la découverte et l'étude de la radioactivité naturelle par Frederick Soddy et Ernest Rutherford, en 1903. La première réaction nucléaire « artificielle » entre noyaux a été effectuée par Rutherford en 1919, en bombardant des noyaux d'azote par des particules alpha issues d'une source radioactive.

Les noyaux radioactifs sont des sources limitées en nucléides (neutrons, protons, noyaux d'hélium et en énergie. Les avancées de la physique des réactions nucléaires allait aller de pair avec le développement des accélérateurs et des détecteurs.

Dans un premier temps, les accélérateurs électrostatiques ont été utilisés avec une course vers les hautes tensions (foudre, bobine de Tesla, etc.). À partir de 1930, l'ingénieur Robert Van de Graaff construit des générateurs électrostatiques éponymes avec des tensions qui dépassent le million de volts (MeV). Une technologie alternative, basée sur les champs magnétiques est développée à partir de 1932, notamment par Ernest Lawrence à Berkeley qui met au point le premier cyclotron. À partir de là, notamment avec la technologie des aimants supraconducteurs, les performances des accélérateurs se sont considérablement améliorées, pour atteindre plusieurs millions de MeV (TeV) par nucléon.

Irène et Frédéric Joliot-Curie découvrent en 1934 la radioactivité artificielle : les réactions nucléaires provoquées par des noyaux accélérés peuvent produire de nouveaux noyaux radioactifs, inconnus dans la nature car de durée de vie très courte. C'est le début d'une exploration systématique de la carte des noyaux atomiques, notamment ceux trop instables pour exister naturellement et qui ne sont accessibles que par des réactions nucléaires provoquées en laboratoire (voir chapitre V.7 de la référence³)

En 1938-1939, Hans Bethe et Carl Friedrich von Weizsäcker démontrent que l'énergie du Soleil, et donc l'énergie des étoiles, était le résultat d'une cascade de réactions nucléaires (cycle carbone-azote-oxygène) provoquant la fusion de l'hydrogène en hélium, avec production d'une grande quantité d'énergie.

En 1938, O. Hahn, L. Meitner et F. Strassman découvrent la fission des noyaux lourds comme l'uranium ; alors que les réactions nucléaires connues jusqu'alors produisaient des noyaux différents de quelques unités de masse et de charge des noyaux initiaux, la fission était le seul processus de réaction permettant, par exemple, la production de noyaux de baryum (56 protons et environ 80 neutrons) à partir de noyaux d'uranium (92 protons et 146 neutrons). La découverte par Frédéric Joliot-Curie de la possibilité d'induire la fission des noyaux d'uranium 235 par absorption de neutrons mettait les chercheurs sur la piste de la réaction en chaîne, qui allait conduire à la bombe A et à la production d'énergie dans les centrales nucléaires.

Les bombes nucléaires ont ensuite utilisé le principe de fusion de noyaux isotopes lourds de l'hydrogène (deutérium et tritium), menant aux bombes « à hydrogène » ou bombes H, beaucoup plus puissantes et destructrices.

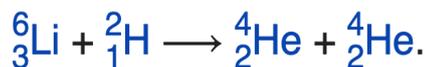
Représentation

Une réaction nucléaire peut être représentée par une équation semblable à celle représentant une réaction chimique. Des désintégrations nucléaires peuvent être représentées d'une manière semblable, mais avec seulement un noyau à gauche.

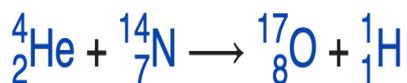
Chaque particule est écrite avec son symbole chimique, avec son numéro atomique à gauche en bas, et son nombre de masse en haut. Pour le neutron, le symbole est n. Le proton peut être noté « H » (noyau d'hydrogène) ou « p ».

Pour vérifier l'équation, on doit contrôler que les sommes des nombres atomiques soient égales à gauche et à droite (à cause de la loi de conservation de la charge électrique), et que les sommes des nombres de masse soient aussi égales à gauche et à droite (à cause de la loi de conservation du nombre baryonique).

Par exemple :



La première réaction nucléaire observée par Rutherford s'écrirait aujourd'hui :



Une des voies possibles de la fission induite de l'uranium :



Réactions de fusion-fission

Dans les réactions de fusion, deux noyaux légers se réunissent pour en former un plus lourd (noyau composé) avec des particules supplémentaires (généralement des protons ou des neutrons) émises par la suite.

Dans les réactions de fission, un noyau très lourd se divise en deux ou parfois trois fragments. La fission peut être spontanée pour les noyaux les plus lourds, ou induite par absorption de particules légères (généralement des neutrons). La fission spontanée, qui se produit sans l'aide d'un neutron, n'est généralement pas considérée comme une réaction nucléaire.

Dans la radioactivité alpha, bien que déterminée par les mêmes forces sous-jacentes que la fission spontanée, est généralement considérée comme distincte de cette dernière.

L'émission gamma induite appartient à une classe dans laquelle seuls les photons sont impliqués dans la création et la désexcitation des états d'excitation nucléaire.

Un réacteur nucléaire est un ensemble de dispositifs comprenant du combustible nucléaire, qui constitue le « cœur » du réacteur, dans lequel une réaction en chaîne peut être initiée et contrôlée par des agents humains ou par des systèmes automatiques, via des protocoles et des dispositifs propres à la fission nucléaire. La chaleur ainsi produite est ensuite évacuée et éventuellement convertie en énergie électrique.

Dans le cœur, sous l'effet d'une collision avec un neutron, le noyau atomique de certains gros atomes, dits fissiles, fissionne, en libérant une grande quantité de chaleur et en produisant deux ou trois neutrons, chacun étant capable de produire une nouvelle fission lors d'une collision avec un autre atome (créant potentiellement une réaction en chaîne). La matière fissile qui constitue le cœur des réacteurs est de l'uranium enrichi ou du plutonium, encapsulé dans des crayons regroupés en assemblages de combustible nucléaire, ou de l'uranium naturel assemblé en barres (par exemple dans les réacteurs RBMK) ou en grappes (par exemple dans les réacteurs CANDU).

Ces réacteurs sont industriels, civils ou militaires, ou encore destinés à la recherche. Par ailleurs, des preuves géochimiques témoignent de l'existence, il y a environ deux milliards d'années, d'un réacteur naturel (le seul connu à ce jour) : le réacteur nucléaire naturel d'Oklo, au Gabon ; une concentration naturelle de métaux radioactifs a permis d'y atteindre la criticité et d'engendrer une réaction en chaîne.