Le neutron et le positron : la radioactivité artificielle

Autor(en): **Joliot, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **115 (1934)**

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-90397

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Le neutron et le positron

La radioactivité artificielle

Par

Prof. Dr F. Joliot, Paris

A la fin du siècle dernier, la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel et des radioéléments par Pierre et Marie Curie a fourni à la science le premier exemple de la transformation d'un élément chimique en un élément chimique différent; ces transmutations sont spontanées et nous ne disposons d'aucun moyen pour les provoquer ou les empêcher.

C'est en 1919 que Rutherford montra la possibilité de provoquer la transmutation des éléments légers en les irradiant par les rayons α.

Dans ce type de réaction nucléaire la particule α est capturée par le noyau atomique, comme l'a démontré Blackett dans le cas de l'azote. Le noyau émet presque instantanément un proton.

Ce phénomène est extrêmement rare (environ atome est ainsi transformé pour 10^6 rayons α irradiant la matière), en raison des faibles dimensions du projectile et de la cible et aussi parce que les noyaux, grâce à la charge électrique qu'ils possèdent, étendent autour d'eux une véritable barrière dite d'énergie potentielle qui tend à s'opposer à l'entrée des projectiles électriquement chargés.

Je voudrais particulièrement insister sur un nouveau type de transmutation qui a conduit à la découverte d'une particule nouvelle, le neutron.

Il y a environ quatre ans, Bothe et Becker montrèrent que certains éléments légers comme *Li, Be, B* irradiés par les rayons α émis par le polonium émettent un rayonnement pénétrant. Cette radiation dans le cas du *Be* et *B* capable de traverser des épaisseurs de matière beaucoup plus élevée que ne le font les rayons *X*

est certainement d'origine nucléaire. Le pouvoir pénétrant est intermédiaire entre celui des rayons γ émis par les radioéléments et celui des rayons cosmiques. Les propriétés des rayonnements dans ce domaine étaient inconnues et on pouvait penser, en particulier, qu'ils étaient capables de provoquer des phénomènes nouveaux dans la matière qu'ils traversaient.

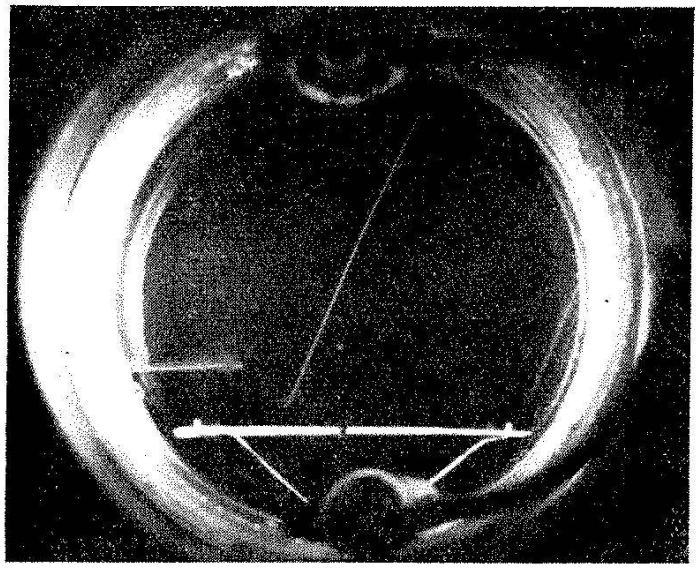

Fig. 1

Madame Joliot et moi-même, nous avons pu montrer que ces rayonnements possèdent la propriété remarquable de projeter, souvent avec de grandes vitesses, les noyaux légers constituant la matière traversée. Les méthodes employées furent la méthode d'ionisation et la méthode des trajectoires de brouillard de Wilson. La fig. 1 montre un noyau d'hydrogène projeté par le rayonnement d'une source de $Po + Be$ irradiant une couche de paraffine. Ce phénomène de projection est général; nous avons pu photographier des rayons d'hélium projetés par le même rayonnement, fig. 2. Ce phénomène de projection de noyaux se traduit par le fait que les rayonnements sont plus absorbés, à masses superficielles égales, par des éléments légers que par des éléments lourds, ce qui est le contraire de ce qui a lieu avec les rayons γ des radioéléments. D'autre part, les expériences faites par la méthode Wilson

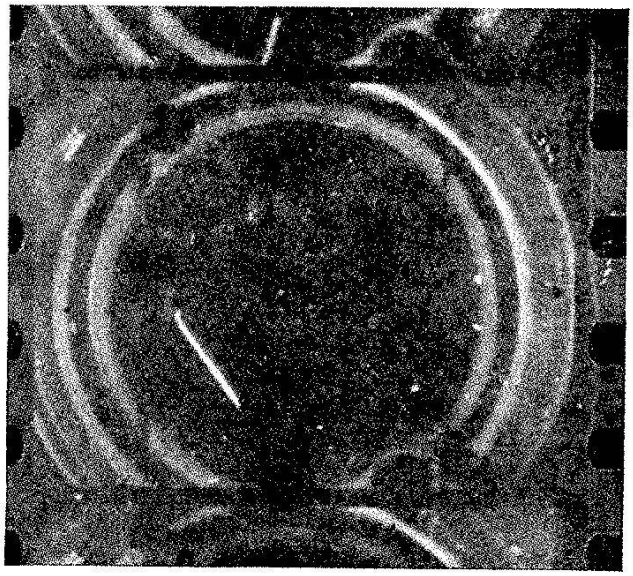

Fig. 2

montraient que les substances irradiées émettaient des électrons de grande énergie indiquant la présence dans le rayonnement de photons de grande énergie. Immédiatement après nos premières publications relatives à ce phénomène, CHADWICK reprit nos expériences et les confirma en comparant les énergies cinétiques des divers noyaux projetés. Il montra que le rayonnement devait se composer de particules non chargées en mouvement rapide et de masse voisine de celle du proton. Ces particules neutres, dont l'existence avait déjà été envisagée souvent, sans qu'on ait pu les mettre en évidence, avaient été nommés neutrons. Ce bref historique montre les étapes successives qui ont fourni les preuves expérimentales de l'existence des neutrons.

Fig. 3

Ces neutrons ont des propriétés particulières que je résumerai ainsi:

Dans son passage à travers la matière, il ne produit sensiblement pas d'ionisation le long de sa trajectoire, sauf quand il rencontre un noyau à une distance assez faible pour lui communiquer, par choc élastique, une énergie suffisante pour le mettre en mouvement. Ces chocs sont rares, étant donné les faibles dimensions des particules et l'on comprend pourquoi une telle particule puisse traverser de grandes épaisseurs de matière. Parfois le choc contre un noyau n'est pas élastique et il y a capture du neutron et transmutation du noyau rencontré avec émission d'une particule α ou H (N_{14}, B_{11}) fig. 3. Le neutron n'étant pas chargé, la barrière d'énergie potentielle des noyaux vis-à-vis du neutron est petite et la chance de provoquer une transmutation lors de la rencontre est relativement grande. On pouvait croire que les neutrons devaient constituer des projectiles de choix pour transmuter les noyaux même lourds et de grands efforts furent faits pour produire artificiellement des faisceaux intenses de neutrons.

L'énergie cinétique d'un neutron est obtenue en mesurant l'énergie cinétique maximum des protons ou des noyaux projetés dans un choc direct. Cette énergie est reliée au parcours des protons facilement mesurables. On a pu voir ainsi que le glucinium

irradié par les rayons α de *Po* émet plusieurs groupes de neutrons dont les énergies cinétiques sont très différentes. Un groupe lent de quelques centaines de milliers d'électrons volt et deux groupes de $4{,}5 \times 10^6$ et 8×10^6 *eV*.

L'étude des conditions d'émission des neutrons par divers éléments en fonction de l'énergie des rayons α incidents, peut se résumer ainsi. Il n'est pas suffisant pour certaines réactions que le rayon α entre dans le noyau, il faut qu'il possède une énergie minimum, si la réaction est endo-énergétique. Dans la plupart des cas, *Li, B, F, Al, Na, Mg,* il existe une énergie minimum pour les rayons α pour que l'émission des neutrons ait lieu. Pour le *Be,* il ne semble pas exister de limite inférieure, ce fait que nous avions trouvé a été confirmé par des expériences faites en Amérique avec des faisceaux intenses de rayons α produits artificiellement et d'énergie relativement faible.

L'émission des neutrons s'effectue (à l'exception peut-être des neutrons lents de *Be)* avec capture de la particule α, celle-ci traversant la barrière, soit par un phénomène de résonance, soit par transparence ou même passage au-dessus du sommet dans le cas des éléments plus légers.

On interprète l'émission des neutrons du glucinium et du lithium par les réactions nucléaires suivantes:

exo-énergétique $\quad {}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He = {}^{12}_{6}C + {}_{0}'n$

endo-énergétique $\quad {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He = {}^{10}_{5}B + {}_{0}'n$

On avait tout d'abord supposé que le neutron résultait de l'association d'un proton et d'un électron négatif et représentait un atome d'hydrogène condensé ayant la dimension d'un noyau. Cependant, certaines recherches récentes font penser que le neutron est une particule élémentaire de matière non chargée et que l'on peut aussi bien considérer le proton comme complexe. Ces questions me conduisent à vous parler d'une nouvelle particule élémentaire, l'électron positif.

L'électron positif

Depuis les expériences récentes de Anderson, Blackett et Oahialini, on sait que le rayonnement cosmique est capable, en traversant la matière de provoquer l'émission de rayons très semblables à des électrons dont la charge serait positive. Je ne puis

parler dans cette conférence des phénomènes extrêmement intéressants observés par la méthode de WILSON auxquels donne lieu la radiation cosmique. Je dirai, cependant, que les clichés montrent des trajectoires d'électrons courbés par le champ magnétique, les unes dans le sens d'une charge négative, les autres dans le sens positif.

L'étude des propriétés des électrons positifs produits par la radiation cosmique est rendue difficile en raison de la faible intensité de la source et parce qu'on ne peut agir commodément sur elle. Il existe maintenant des sources d'électrons positifs d'origine terrestre. Lorsqu'on irradie un élément lourd de préférence, avec le rayonnement complexe de neutrons et de photons émis par une source de $Po + Be$ on observe qu'il jaillit de la cible des électrons positifs. Cette expérience faite par plusieurs auteurs BLACKETT, CHADWICK, OCCHIALINI, L. MEITNER et K. PHILLIP ne permettait pas de savoir lequel des deux rayonnements neutrons ou photons, était responsable de l'émission des positrons. J'ai pu montrer avec Mme JOLIOT, par des expériences d'absorption que ce sont les photons qui produisaient la majeure partie de l'effet et que le nombre de positrons émis augmente rapidement avec le numéro atomique du radiateur. L'énergie cinétique maximum des positrons est de l'ordre de 4×10^6 *ev* tandis que l'énergie des photons est 5×10^6 *ev*. Cette propriété ne devait pas être particulière à ce rayonnement γ de $Po + Be$ et en effet dans plusieurs laboratoires on montra que les rayons γ de ThC'' ($h\nu = 2.6 \times 10^6$ *ev*) donnaient lieu au même phénomène; l'énergie cinétique maximum des positrons est dans ce cas $1{,}60 \times 10^6$ *ev* environ. Enfin l'étude par la méthode WILSON des trajectoires d'électrons positifs produits nous a fait obtenir un cliché montrant l'apparition d'une paire d'électrons positif et négatif prenant naissance dans le gaz dans la trace du faisceau de photon. La mesure des énergies de ces électrons et les résultats ci-dessus font représenter le phénomène de la façon suivante:

Un photon d'énergie supérieure à 10^6 *ev* peut en rencontrant un noyau disparaître en matérialisant deux électrons de signe contraire. La matérialisation des deux électrons exige une dépense d'énergie de $2 \times 0{,}5 \times 10^6$ *ev*, le surplus de l'énergie du quantum est communiqué aux électrons sous forme d'énergie cinétique $W_{\underset{e}{+}}$ et $W_{\underset{e}{-}}$ telle que :

$$h\nu - 10^6\, ev = W_{\underset{e}{+}} + W_{\underset{e}{-}}.$$

Il semble démontré que l'absorption supplémentaire des rayons γ durs par les éléments lourds (phénomène qui a lieu lorsque $h\nu$ est justement supérieure à 10^6 *ev*) est principalement due à l'absorption par matérialisation.

Que deviennent les électrons positifs après leur création? D'après Dirac ils peuvent disparaître en rencontrant un électron en donnant naissance à deux photons. La vérification expérimentale de phénomène de dématérialisation des électrons a été faite indépendamment par M. Thibaud et moi-même. Il semble d'après les expériences de Skobelzyn que le phénomène précédent est plus général et que l'on peut s'attendre à voir apparaître une paire d'électrons de signe contraire, par matérialisation de l'énergie, toutes les fois qu'une énergie de plus de 10^6 *ev* peut être dissipée en un seul processus élémentaire.

Matérialisation interne des photons

Nous avons montré qu'une surface de glucinium irradié par les rayons α du polonium émet directement des électrons positifs et négatifs. L'énergie cinétique maximum des positrons est voisine de 4×10^6 *ev*, tandis que celle des électrons négatifs est voisine de 5×10^6 *ev*. Le rendement de la production de ces électrons a une valeur suffisamment élevée pour qu'il soit impossible d'admettre qu'ils sont produits par matérialisation des photons dans les atomes quelconques de glucinium, élément de numéro atomique faible. Nous expliquions cette émission, relativement intense d'électrons, en admettant que le photon se matérialise à la surface du noyau qui vient de se transformer.

Le photon $h\nu$ subit une *matérialisation interne* à la surface du noyau de carbone.

La probabilité de ce phénomène a été calculée théoriquement par Nedelsky et Oppenheimer et la valeur trouvée s'accorde assez bien avec l'expérience. Cette probabilité diminuerait rapidement avec les éléments émetteurs de photons de numéro atomique croissant.

Création de radioéléments émetteurs de positrons et d'électrons

Des expériences effectuées au moyen de l'appareil Wilson placé dans un champ magnétique, nous ont permis de montrer que la transmutation de certains éléments légers par les rayons α s'ac-

compagne de l'émission d'électrons positifs. Le glucinium émet, sous l'action des rayons α du polonium, des électrons positifs et négatifs attribuables à la matérialisation interne du rayonnement γ. Le bore et l'aluminium émettent aussi des électrons positifs sous l'action des rayons α, mais il n'y a pas production simultanée d'électrons négatifs d'énergie comparable.

Nous avons admis que ces électrons positifs étaient effectivement émis par les noyaux lors des transmutations. Comme ces éléments peuvent se transformer soit en émettant des protons soit des neutrons nous avons pensé que le proton pourrait résulter de l'association d'un neutron et d'un positron. Les interprétations furent discutées jusqu'à ce que nous ayons obtenu les résultats suivants :

On irradie de l'aluminium ou du bore ou du magnésium avec les rayons α d'une source de Po (10^9 α/sec.) pendant un certain temps, court. On retire la source de projectiles α, on constate que les surfaces irradiées continuent d'émettre des positrons pendant un temps plus ou moins long, pouvant atteindre l'heure dans le cas du bore irradié. Le nombre de positrons émis par seconde, décroit exponentiellement en fonction du temps. La période, temps après lequel le nombre des positrons a diminué de moitié, est 14′ pour le bore irradié, 3′15″ pour Al et 2′30″ pour Mg. *Pour la première fois nous avons pu créer artificiellement la radioactivité durable de la matière.* Il s'agit ici, d'ailleurs, d'un nouveau type de radioactivité avec émission de positrons. Les processus de formation sont les suivants :

$$^{10}_{5}B + {}^{4}_{2}He = {}^{13}_{7}N + {}_{0}'n \quad \text{puis} \quad {}^{13}_{7}N = {}^{13}_{6}C + \overset{+}{\varepsilon} + w$$

neutrino

$$^{27}_{13}Al + - = {}^{30}_{15}P + {}_{0}'n$$

$$^{24}_{12}Mg + = {}^{27}_{14}Si + {}_{0}'n$$

on observe aussi un cas de radioactivité avec émission d'électrons négatifs

$$^{25}_{12}Mg + {}^{4}_{2}He = {}^{28}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \quad {}^{28}_{13}Al = {}^{28}_{14}Si + \overset{-}{\varepsilon} + n$$

neutrino.

D'autres métaux comme $Be - Ca$ plus lourds ne donnent rien. De même avec Al, on aura $^{30}_{15}P$ radioactif.

Ces isotopes n'existent pas dans la nature, nous voyons pourquoi: ils se transforment rapidement en nouveaux noyaux stables.

Ces nouveaux éléments ayant une vie moyenne de l'ordre de quelques minutes, nous avons tenté leur séparation et leur identification chimique.

L'azoture de bore irradié est ensuite traité par la soude caustique par fusion dans un appareil vide d'air. Il se forme NH^3 entraînant l'activité que l'on recueille dans un tube à parois minces plongé dans l'air liquide.

De même, on peut séparer la radioactivité de *Al* en le traitant par *HCl*, il se forme de l'hydrogène naissant entraînant un gaz radioactif que l'on recueille sous cloche à parois minces. Le phosphate de zirconium en milieu acide entraîne une partie de la radioactivité.

Les expériences ci-dessus donnent la preuve chimique, 1° que l'élément formé par transmutation est différent de l'élément initial, 2° que la particule α a été capturée dans le noyau.

Nous proposons d'appeler *radioazote*, *radioaluminium*, *radiosilicium*, *radiophosphore*, etc., les radioéléments nouveaux émetteurs de positrons ou de rayons β produits par l'action des rayons α sur le bore, le magnésium et l'aluminium.

Des dénominations analogues peuvent être adoptées dans le cas des autres radioéléments nouveaux. Toutefois, il existe certainement plusieurs isotopes actifs d'un même élément. Une désignation convenable ne pourra guère être établie avant que l'on sache mieux les cas qui peuvent se présenter.

Nous avons suggéré immédiatement après nos premières expériences que l'on obtiendrait des radioéléments nouveaux en employant d'autres projectiles que les rayons α, comme les protons, le deutons, les neutrons. Cette prévision fut réalisée dans plusieurs pays ou ces recherches furent reprises et développées. L'on connaît actuellement plus de soixante-dix nouveaux radioéléments.

Les énergies et les intensités obtenues actuellement dans les tubes producteurs de particules accélérées, permettent de penser que l'on pourra créer prochainement au moyen de ces particules des radioéléments d'intensité de rayonnement comparable à celui des préparations de radioéléments naturels dont on dispose actuellement.

Ces radioéléments pourront alors recevoir des applications médicales et peut-être d'autres applications pratiques. Introduits dans l'organisme, ces corps doivent se comporter très différemment des radioéléments ordinaires en raison de leurs propriétés chimiques différentes et de leur destruction sans résidu radioactif.

Certains des radioéléments nouveaux sont par eux-mêmes émetteurs de rayons γ. De plus, ceux qui émettent des positrons produisent avec une grande intensité dans la matière voisine le rayonnement d'annihilation de 500,000 eV et, par conséquent, ils constitueront des sources de rayons γ homogènes et pourront être utilisés à ce titre.

Enfin, on doit prévoir un développement considérable de l'emploi de ces noyaux radioactifs, en tant qu'indicateurs pour étudier le comportement de leurs isotopes inactifs dans certaines réactions chimiques ou dans les phénomènes biologiques.