

Projets
Panorama de la physique
Licence L₂ Mécanique-Physique-Matériau

soutenus le

Vendredi 19 Décembre 2008-12-12



Table des matières

Daher Mohamed	1
<i>Le débat Bohr-Einstein sur la mécanique quantique</i>	
Clément Fidelin & Massinissa Kaced	7
<i>La découverte du Neutron</i>	
Florian Appert	13
<i>Mise en évidence expérimentale du neutrino</i>	
Fabien Dubuc & Pierre Saniez	19
<i>Les premières réactions nucléaires à particules accélérées</i>	
Romain Ternois & Mathieu Coïc	25
<i>Radioactivité et âge de la Terre</i>	
Léa Voivenel & Thomas Roger	31
<i>Découverte de la radioactivité artificielle</i>	
David Ambrois & François Descabannes	37
<i>Principe et intérêt du LHC</i>	
Florent Fenault	43
<i>Le LHC et les trous noirs</i>	

Le Débat Bohr-Einstein sur la Mécanique Quantique

Daher Mohamed

Des particules à l'Univers L₂MPM, Promotion 2006-2007.

Abstract

Einstein and Bohr, being the figures associated with the relativity and quantum revolutions. Their names dominate the history of philosophical reactions to the new physics of the twentieth century, Bohr for having identified complementarity in the quantum description of nature, Einstein for having found vindication in relativity theory. They are famous also, together, for their decade-long disagreement over the future of fundamental physics, their respective embrace and rejection of quantum indeterminacy being only the most widely-known point of contention. The Einstein-Bohr Debate is one in which Einstein's tries, from 1927 through 1930, to prove the quantum theory incorrect via thought experiments exhibiting in-principle violations of the Heisenberg indeterminacy principle, only to have Bohr find the flaw in each, after which Einstein shifts his direction of attack, faulting the quantum theory now not as incorrect, but incomplete.

1. Introduction

Au moment où l'on découvrait la mécanique quantique, dans les années 1923-1926 se posait le problème de l'interprétation de son formalisme. L'interprétation du vecteur d'état ou de la fonction d'onde représentant un système physique fut l'objet d'un nombre important de discussions qui conduisirent Max Born à l'imaginer comme une amplitude de probabilité [1]. En 1927 et en 1930, lors du Cinquième et Sixième Conseil Solvay, tous les acteurs de la nouvelle mécanique se réunissent. Ce congrès est présidé par Lorentz, où on y retrouve Niels Bohr (1885-1962) et Albert Einstein (1879-1955). Les physiciens n'étaient pas d'accord entre eux : un camp (Bohr, Heisenberg, Born, Dirac, Pauli...) était partisan de l'interprétation purement probabiliste, l'autre (Einstein, Planck, Schrödinger, De Broglie, Lorentz...) pensait que l'on ne pouvait pas admettre une semblable interprétation et réaffirmait avec force leur conviction que la physique théorique devait rester déterministe. Pendant ces Congrès, la succession des débats entre Bohr et Einstein prennent de l'ampleur sur les fondements de la physique quantique vis-à-vis de son interprétation. Contrairement à la physique classique, effectuer une mesure en physique quantique perturbe l'état du système étudié, c'est pourquoi l'un, refuse de renoncer à une idée déterministe, et l'autre se penchant à l'interprétation probabiliste des systèmes physiques dans le monde quantique.

2. Interprétation probabiliste de la physique quantique

En physique classique, les théories satisfaisaient à trois grands principes : « déterminisme », « objectivité », « complétude ». Avant de savoir comment ils furent malmenés par la physique quantique, il n'est sans doute pas inutile d'en examiner la signification précise. La physique, fondée sur la mécanique de Newton et l'électromagnétisme de Maxwell, prétendait étudier la réalité physique. Cette dernière était constituée, d'après elle, de particules de masse et de champs (électromagnétiques et gravitationnels). Les processus physiques s'interprétaient en termes d'interactions entre particules et champs, selon des lois rigoureusement déterministes : l'état d'un système physique et de son environnement à un moment donné déterminant sans ambiguïté son état à tout instant ultérieur (déterminisme). Bien sûr, lorsqu'elle s'appliquait à des ensembles contenant beaucoup de particules [2], la physique classique faisait appel aux notions de probabilité ou de valeur moyenne. Mais ce

faisant, elle ne supposait aucun indéterminisme inhérent à la nature des choses, elle simplifiait seulement des calculs qui devenaient impraticables lorsqu'ils manipulaient trop de variables.

D'autre part, dans le cadre du paradigme de la physique classique, on admet parfaitement que la connaissance de la réalité ne pouvait être obtenue que par des mesures et que celles-ci, comme les processus physiques, étaient elles mêmes le résultat d'interactions entre les instruments de mesure et les objets physiques à étudier. Mais elle prétendait pouvoir corriger les effets de ces interactions (elle les supposait d'ailleurs en général négligeables). Elle se disait capable de décrire la réalité physique indépendamment de son observation (objectivité).

Enfin, la physique classique affirmait qu'à condition d'être correctement mise en œuvre, elle pourrait représenter le monde de manière complète [3] : Tout élément pertinent de la réalité physique avait sa contrepartie dans la théorie (complétude). Bref, la physique classique prétendait fournir une représentation isomorphe (une relation entre deux objets qui démontre leurs similitudes) de la structure et du développement déterministe de la réalité physique telle qu'elle serait, indépendamment du fait qu'elle est observée.

S'agissant de la rupture de la physique quantique avec la physique classique, il faut remarquer qu'avec l'avènement de cette nouvelle théorie physique, il est apparu graduellement qu'on allait devoir renoncer au déterminisme, à l'objectivité et peut être aussi à la complétude.

3. L'indéterminisme quantique

La première victime a donc été le déterminisme. En Juin 1926 [4], à Göttingen (Ecosse), Max Born affirma : « *Lorsqu'on calcule en mécanique quantique l'interaction de deux systèmes, on sait qu'il n'est pas possible, comme en mécanique classique, de déterminer de quelle manière cet état sera influencé par un état de l'autre système : en réalité, les états des deux systèmes sont couplés entre eux de manière enchevêtrée. Il s'agit donc de définir mathématiquement le comportement asymptotique des particules couplées. Avec la représentation matricielle de la mécanique quantique, cela ne m'a pas été possible ; avec la formulation de Schrödinger, oui. Ainsi la mécanique quantique de Schrödinger donne une réponse précise à la question de l'effet d'une collision, mais il ne s'agit pas d'une relation causale. On ne répond pas à la question " quel est l'état après la collision ? ", Mais plutôt à la question " quelle est la probabilité d'obtenir un effet donné après la collision ? ". Ici se pose tout le problème du déterminisme. Je serais d'avis, quant à moi, de renoncer au déterminisme dans le domaine de l'atome. Mais ceci est une position philosophique, pour laquelle les arguments physiques à eux seuls sont insuffisants.* ». Les conséquences sont très importantes, le calcul ne donne plus accès qu'à une probabilité de présence. L'origine profonde de cette situation vient du caractère dual de la matière. Bohr exprime cela par son *principe de complémentarité* (au Congrès de Côme) qu'il reprend lors du Conseil Solvay de 1927 [5] : « *Les deux conceptions de la nature de la lumière représentent deux tentatives d'adaptation des faits expérimentaux à notre manière ordinaire de concevoir le monde par laquelle la limitation des notions classique est exprimée de façon complémentaire* », selon lequel les représentations ondulatoires et corpusculaires permettent tour à tour de décrire la réalité, mais c'est l'échelle de l'expérience qui détermine la nature des interactions avec la matière, ondulatoire ou corpusculaire.

4. Défenseurs du déterminisme quantique

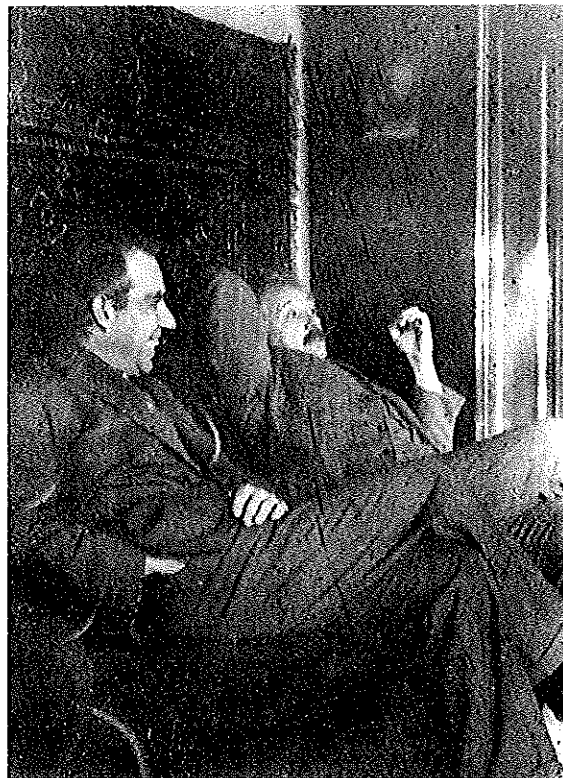


Fig. 1 : Bohr et Einstein lors du Congrès Solvay de 1927

Einstein est contre l'abandon de la description déterministe en physique. Il avait exprimé son opinion peu avant par « *Dieu ne joue pas aux dés* » [6]. Bohr en fera le commentaire suivant [7] : « *La réticence à renoncer à la description déterministe a été particulièrement exprimée par Einstein, qui proposait des alternatives suggérant la possibilité de prendre en considération l'interaction entre les objets atomiques et les instruments de mesure plus explicitement. Bien que nos réponses concernant la vanité de cette perspective n'aient pas convaincu Einstein, qui est revenu sur ces problèmes durant les conférences suivantes, les discussions furent une inspiration pour une exploration ultérieure de la situation relative à l'analyse et à la synthèse en physique quantique et ses analogies dans d'autres domaines de la connaissance humaine, où la terminologie usuelle implique l'attention aux conditions dans lesquelles l'expérience est acquise* ». Einstein ne se satisfait jamais de la mécanique quantique. Il reconnut certes la justesse et la puissance explicative de cette théorie, mais il ne put jamais l'admettre comme ultime représentation des phénomènes quantiques. Selon lui, le caractère probabiliste de cette théorie impliquait qu'elle fut incomplète.

Dans une première phase, la discussion porte sur l'analyse de plusieurs expériences de pensées proposées par Einstein dont notamment, lors du Conseil Solvay de 1930, il tenta même de violer les relations d'incertitude de Heisenberg par une expérience de pensée nommée « *Boîte à photon* ». Einstein propose son expérience comme suit : *Imaginons une boîte percée d'un trou que l'on peut ouvrir ou fermer à l'aide d'un obturateur déclenché par un mouvement d'horlogerie. Au début la boîte contient une certaine quantité de rayonnement. A un instant donné, l'horloge ouvre l'obturateur pendant un temps très court : on peut ainsi établir qu'un seul photon est émis à travers le trou à un instant connu avec toute la précision souhaitée. En outre, d'après la relation $E = mc^2$ il suffit de peser la boîte avant et après cet événement pour obtenir une mesure de l'énergie du photon avec toute l'exactitude souhaitée. Ces deux mesures exactes sont simultanées, en contradiction formelle avec la relation d'indétermination sur l'énergie et le temps en mécanique quantique, $\Delta E * \Delta t \geq h/2\pi$, qui interdit d'obtenir toute exactitude souhaitée sur la mesure des deux grandeurs E et t.* Bohr montre à

Einstein que son analyse de l'expérience est erronée. *Supposons, écrit-il, que l'on pèse la boîte à l'aide du dispositif schématisé ci contre : on amène l'aiguille de la balance en face de la graduation zéro, laquelle correspond à l'équilibre du poids de la boîte et du poids suspendu en C. La position de l'aiguille en face du zéro est entachée d'une incertitude Δq (d'où une détermination Δm sur la valeur de la masse m de la boîte). L'indétermination Δq est corrélée (en vertu des relations d'indétermination de Heisenberg) à une indétermination Δp de la quantité de mouvement de l'ensemble. Par ailleurs, cette indétermination doit être inférieure à la quantité de mouvement du système, qui peut être vue comme la quantité de mouvement que produit le champ de gravitation, pendant le temps t que dure l'émission d'un photon, sur une masse Δm , soit :*

$$\Delta p \sim h / (2 \pi \Delta q) < t g \Delta m \quad (1)$$

Où le symbole \sim indique une égalité approchée et g est l'accélération de la pesanteur. Or, d'après la théorie de la relativité générale, une horloge, déplacée de Δq dans la direction de la pesanteur terrestre, change de rythme, de sorte que son indication, au bout d'un intervalle de temps t , diffère de celui-ci d'une quantité Δt donnée par la relation :

$$\Delta t / t = g \Delta q / c^2 \quad (2)$$

En combinant les équations (1) et (2), on retrouve la relation d'indétermination du couple de grandeurs énergie-temps :

$$c^2 \Delta t = t g \Delta q > h / (2 \pi \Delta m)$$

Avec $\Delta m c^2 = \Delta E$, donc $\Delta E * \Delta t > h / 2 \pi$.

Par conséquent, si l'appareil est construit pour mesurer avec précision l'énergie du photon, il ne peut déterminer l'instant où ce dernier s'échappe. Le principe d'indétermination n'est donc pas violé par l'expérience de pensée d'Einstein. Et comble d'ironie, Bohr a utilisé la propre théorie d'Einstein pour contrer ses arguments.

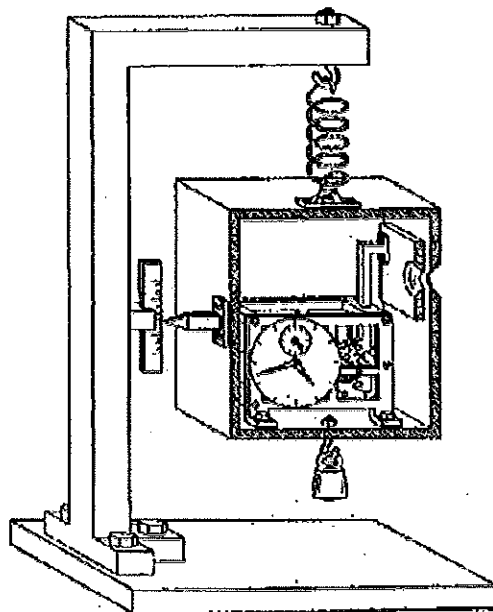


Fig. 2 : Boîte à photon

Dans une seconde phase, Einstein, qui s'est entre temps convaincu de la cohérence de la théorie, essaie de montrer que celle-ci ne fournit pas une description complète des phénomènes physiques ; cette seconde phase culmine avec la publication en 1935 de l'article d'Einstein, Podolsky et Rosen intitulé « *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete ?* ». C'est en effet sur ce point que porte le « critère de réalité » que proposent Einstein et ses collaborateurs, en plaçant ainsi le débat sur le terrain épistémologique, celui de la représentation de la « réalité physique ». Néanmoins, les deux hommes reviendront plusieurs fois sur l'interprétation de la mécanique quantique, surtout lors des visites de Bohr à l'*Institute for Advanced Studies* de Princeton (en particulier en 1939, 1948 et 1954).

5. La « réalité physique »

Einstein continua de croire en la possibilité de les définir (grandeurs conjuguées) simultanément et exactement dans une théorie plus complète [8].

Le argument formulé par Einstein, Podolsky et Rosen en 1935 montrait en effet que la mécanique quantique violait le critère de complétude suivant [9] : « *Chaque élément de la réalité physique doit avoir un correspondant dans la théorie physique [étant entendu que] si sans perturber le système en aucune façon, nous pouvons prédire avec certitude la valeur d'une grandeur physique, alors il existe un élément de la réalité physique correspondant.* » Il suffit, pour voir la violation, d'imaginer un système de deux particules 1 et 2 ayant chacune les propriétés conjuguées q et p et prises dans un état propre des observables $q_1 - q_2$ et $p_1 + p_2$. Une mesure de q_1 permettrait de déterminer q_2 sans n'aucunement perturber la particule 2, à condition que celle-ci soit suffisamment éloignée de la particule 1, et vice versa. Le critère de réalité d'EPR implique donc que q_2 et p_2 aient toutes deux des valeurs définies, bien que la mécanique quantique ne les définisse que dans la limite des relations d'incertitude de Heisenberg. Einstein, Podolsky et Rosen en déduisent que la théorie quantique « est incomplète » : elle ne rend pas compte de toute la « réalité physique ».

Dans sa réponse, Bohr critique le critère de « réalité » avancé par les auteurs, dans le droit fil de ses propres positions épistémologiques ; ses objections visent la clause « sans perturber aucunement le système » dont il considère qu'elle est ambiguë. Pour Bohr, Einstein ne voit pas que la situation (deux systèmes ayant interagi et n'interagissant plus) ne peut être décrite de façon non ambiguë, comme celle de deux systèmes indépendants, que dans le cadre de la physique classique ; dans celui de la physique quantique, la description de la réalité physique doit inclure de dispositif susceptible de mettre en évidence les attributs des systèmes, en l'occurrence le dispositif permettant de mesurer les grandeurs p_1 et q_1 . C'est à John Bell [10] que nous devons la preuve que le critère EPR de réalité est incompatible avec les prédictions empiriques de la mécanique quantique, et cela, en formulant un théorème qui permet de tester les théories visant à compléter la mécanique quantique au moyen de « variables cachées ».

6. Conclusion

Finalement, à la fin du cinquième Conseil Solvay, Max Born et Heisenberg déclarent [11] : « *Nous tenons la mécanique des quanta pour une théorie complète, dont les hypothèses fondamentales physiques et mathématiques ne sont plus susceptibles de modification* ». Cette conception allait triompher, on la qualifie de conception « orthodoxe » de la mécanique quantique ou d'« interprétation de Copenhague », compte rendu du rôle essentiel joué par Niels Bohr et ses élèves de l'Institut de physique théorique de Copenhague. Au début des années 1980, le physicien français Alain Aspect [12] réalise ses expériences sur les fondements de la mécanique quantique. L'expérience donne raison a

l'interprétation de Bohr ; mais Einstein, dans l'article EPR, a mis le doigt sur une propriété nouvelle : « l'intrication ». C'est la conclusion provisoire de cette longue controverse ouverte entre Albert Einstein et Niels Bohr.

Références

- [1] Max Born, « *Sur la mécanique quantique des collisions* », 25 juin 1926
- [2] Boltzmann (Ludwig), « *Vorlesungen über Gastheorie* » [conférence sur la théorie des gaz], Leipzig, 1898
- [3] Laplace, Pierre Simon de, « *Théorie analytique des probabilités* », 1820
- [4] Max Born, « *Sur la mécanique quantique des collisions* », in *Zeitschrift für Physik* 37, 863-867, 25 juin 1926
- [5] Niels Bohr, « *Le postulat quantique et le dernier développement de la théorie atomique* », in *Nature* 121, 580-591, 1927
- [6] Lettre de Einstein à son ami Besso, 4 décembre 1926
- [7] Shilpp, Paul Arthur « *Albert Einstein: Philosopher-Scientist* » Science, Vol.111, Issue 2886, pp. 409-410, 1949
- [8] Niels Bohr, « *Discussions with Einstein on epistemological problems in atomic physics* » 199-242, 1927
- [9] A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, « *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?* » Phys. Rev. Vol.47, 15 May 1935
- [10] John Bell, « *Speakable and Unsayable in Quantum Mechanics* », Cambridge University Press 1987
- [11] Born & Heisenberg, article dans *Electrons et Photons*, 1928
- [12] Alain Aspect *Quelques tests expérimentaux des fondements de la mécanique quantique (en optique)*, in « *Qu'est-ce que l'Univers ?* », Vol. 4 de l'Université de Tous les Savoirs, 589. Dualité onde-corpuscule, intrication quantique & paradoxe E.P.R.

La découverte du Neutron

Clément FIDELIN – Massinissa KACED

Panorama de la Physique L₂ MPM, Promotion 2008-2009.

Abstract

For many years, the scientific community supposed the existence of a hypothetical particle with no electrical charge. Physicists thought then that this neutral particle could be formed of two elementary particles : a proton and an electron. But it was not until 1932, following research conducted by J. Chadwick (Fig. 1), that the neutron was born really, when it was finally clearly identified as an elementary particle of mass 1 and charge 0. For this discovery, J. Chadwick will be rewarded and will received the Nobel Prize for Physics in 1935.



Fig. 1 : Portrait de James Chadwick (1891-1974), physicien britannique à qui l'ont doit la découverte du neutron.

1. Introduction

Depuis plusieurs années, l'hypothèse de l'existence d'une particule sans charge électrique circule dans le milieu de la physique. Cette particule, issue du noyau atomique, est d'abord caractérisée par W. Nernst comme étant une particule formée d'un électron d'une part et d'une particule de charge positive équivalente d'autre part.

En 1904, W. L. Bragg émet à son tour l'hypothèse que cette particule neutre puisse être en réalité des rayons γ émis par des substances radioactives ; et que cette particule, une fois brisée, libèrerait un électron.

Mais c'est seulement en 1920 que la première hypothèse de l'existence d'une particule neutre telle que nous la connaissons actuellement sous le nom de « neutron » est émise par E. Rutherford [1]. Se basant sur la proposition de Nernst, Rutherford suppose que cette particule neutre serait en réalité la combinaison intime d'un proton et d'un électron – comme cela est le cas dans l'atome d'hydrogène, sur lequel il fonde son hypothèse. Ses observations amènent aux conclusions que la charge de cette particule serait nulle, lui permettant ainsi de traverser aisément la matière ; que sa masse serait approximativement la même que celle de l'atome d'hydrogène ; et que cette particule entrerait directement dans la structure des atomes, pouvant ainsi, entre autres, d'expliquer la structure des éléments lourds.

2. La mise en évidence du Neutron

Suite aux premières hypothèses formulées quant à l'existence d'une particule de charge nulle, aucune expérience n'est entreprise pour mettre en évidence l'existence d'une telle particule. Quelques rares tentatives sont menées ici ou là, comme par exemple par J. L. Glasson et J. K. Roberts au Cavendish Laboratory en 1921, lorsqu'ils tentèrent de détecter la formation de la particule neutre lors du passage d'une décharge électrique à travers un atome d'hydrogène. Mais rien de concluant n'est tiré de ces rares expériences.

La découverte expérimentale de l'existence de cette hypothétique particule neutre commence en 1930, par les travaux de W. Bothe et H. Becker, deux physiciens allemands qui ont montré que les radiations γ étaient excitées dans les éléments légers lorsqu'ils étaient bombardés par des particules α .

H. C. Webster, du Cavendish Laboratory, effectue alors des expériences similaires à celles de Bothe & Becker et étudie plus en détails les radiations observées. Il observe des particularités difficiles à expliquer. J. Chadwick étudie ces particularités et suggère alors que ces radiations peuvent consister en des particules de charge nulle. Pour le prouver, il propose une expérience consistant en le passage de la radiation dans une chambre à expansion. Les résultats obtenus n'ont cependant rien d'inattendu.

La réelle avancée dans la découverte de la nature de la particule de charge neutre date de 1931, lorsque I. et F. Joliot-Curie achèvent leurs travaux sur les propriétés de la radiation du béryllium. Après avoir fait passer la radiation du béryllium à travers une très petite ouverture dans une enceinte à ionisation contenant de l'air, ils remarquent une augmentation de l'ionisation lorsque la cire de paraffine (ou toute autre matière contenant de l'hydrogène) était placée devant l'enceinte. Les Curie n'arrivent pas précisément à expliquer ce comportement et en concluent que cela est probablement dû à l'éjection de protons, provenant de la cire, et se déplaçant à de grandes vitesses.

En 1932, J. Chadwick se lance dans l'étude du phénomène mis en évidence par les Curie. Il découvre que la radiation du béryllium pourrait éjecter des particules non seulement de la cire de paraffine, mais également d'autres substances, dites légères, comme le lithium ou encore le bore. Cette propriété de mise en mouvement des atomes de la matière suggère que les radiations sont en réalité constituées de particules.

Pour le démontrer, il suppose que la radiation observée consiste en des particules de masse M se déplaçant à des vitesses s'élevant jusqu'à une vitesse maximale V . Alors la vitesse maximale qui pourrait être donnée à un atome d'hydrogène de masse 1, par la transmission d'une telle particule serait [2] :

$$U_p = \frac{2M}{M+1} \cdot V \quad (1)$$

Et la vitesse maximale qui pourrait être donnée à un atome d'azote serait :

$$U_n = \frac{2M}{M+14} \cdot V \quad (2)$$

D'où :

$$\frac{U_p}{U_n} = \frac{M+14}{M+1} \quad (3)$$

Chadwick détermine expérimentalement les valeurs de U_p et U_n comme étant approximativement : $U_p = ca. 3,7 \times 10^9$ cm/sec et $U_n = ca. 4,7 \times 10^8$ cm/sec. Grâce à cela, Chadwick détermine que $M = 0,9$.

Ainsi, Chadwick conclut que la radiation du béryllium consiste en réalité en une particule de masse très proche de celle du proton. Par la suite, des expériences plus poussées lui ont permis de montrer

que ces particules pouvaient passer facilement à travers la matière, par exemple entre 10 à 20 cm d'épaisseur de plomb ; contrairement à un proton qui, à une vitesse identique à celle de la particule « neutre », est stoppé par une épaisseur de ¼ mm de plomb.

Or, on sait que le pouvoir de pénétration des particules de même masse et de même vitesse dépend seulement de la charge portée par la particule. Il est donc clair que la particule de la radiation du béryllium devait avoir une très petite charge comparée à celle du proton pour lui permettre de pénétrer la matière en profondeur. Il est donc simple d'admettre qu'elle n'a pas de charge du tout.

Par conséquent, Chadwick en arriva à la conclusion que la radiation du béryllium consistait en réalité en une particule de masse 1 et de charge 0, qu'il nomma neutron.

3. Le Neutron et ses propriétés

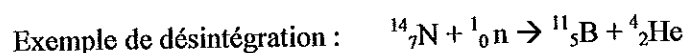
Une des principales propriétés du neutron consiste en le fait qu'il soit une particule neutre. De ce fait, cette propriété donne au neutron la possibilité de pouvoir traverser la matière. Du fait de sa charge nulle, le neutron ne dissipe son énergie que lorsqu'il entre en collision avec les noyaux atomiques des atomes constituant la matière traversée et non avec les électrons gravitant autour.

On observe un comportement très différent avec les particules chargées, comme le proton, qui dissipent quant à elles leur énergie essentiellement lors des collisions avec les électrons. Cela explique la raison pour laquelle le neutron possède un pouvoir pénétrant beaucoup plus important que les particules chargées comme le proton ; car la collision neutron/noyau est rare, bien que plus fréquente que la collision neutron/électron. En effet, le neutron, du fait de sa charge nulle, n'est pas soumis aux forces coulombiennes qui limitent les chances de pénétration de la matière ; alors que les particules chargées, quant à elles, sont soumises à ces forces coulombiennes faisant qu'elles se retrouvent irrémédiablement attirées par les particules de charges contraires rencontrées sur leur passage.

Du fait de cette faculté à pouvoir traverser la matière et produire une collision avec d'autres atomes, il arrive que, lors d'une collision avec un atome, ce dernier acquière assez d'énergie pour produire des ions. Ceci met en évidence le pouvoir ionisant du neutron qui intervient de façon indirecte par le biais de ces collisions avec les noyaux des atomes constituant la matière.

Lors de ces mêmes collisions, il peut arriver que le neutron soit dévié de sa trajectoire. Ainsi, les probabilités pour qu'il rencontre un nouveau noyau s'en trouvent alors modifiées et il se peut alors que le neutron entre en contact avec un deuxième noyau atomique qu'il ionisera probablement comme le premier. Mais ce genre de réaction en chaîne est rare, du fait de la durée de demi-vie courte du neutron (environ 12 minutes) et du fait que les chances pour un neutron d'entrer en contact avec un autre atome sont très faibles.

Néanmoins, le phénomène de réaction existe belle et bien et il intervient principalement dans le phénomène de fission nucléaire induite¹. Dans certains cas, les neutrons entrent dans les noyaux et une désintégration se produit. Ces désintégrations furent observées pour la première fois par N. Feather lors de ses observations sur le passage des neutrons à travers une chambre à expansion remplie d'azote.



E. Fermi et ses collaborateurs ont par ailleurs montrés que ce phénomène de la radioactivité artificielle pouvait être provoqué par le bombardement de neutrons dans la grande majorité de tous les éléments (même les éléments lourds). Ces éléments lourds, riches en neutrons, peuvent libérer plusieurs neutrons dits « prompts » lors d'une collision entre un neutron et le noyau atomique. Le noyau se désintègre alors en plusieurs fragments, libérant au passage ces neutrons prompts qui, ayant acquis une vitesse initiale lors du dégagement d'énergie important accompagnant la désintégration, deviennent susceptibles à leur tour d'enclencher un phénomène de désintégration avec un autre atome proche.

De plus, la capacité des neutrons à pénétrer à l'intérieur du noyau des atomes avec lesquels ils entrent en collision est d'autant plus accrue que le neutron a la possibilité de rencontrer une faille de potentiel.

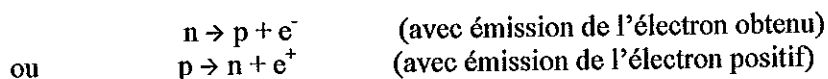
¹ http://fr.wikipedia.org/wiki/Fission_nucl%C3%A9aire

De même qu'en mécanique quantique, lorsque les particules chargées se retrouvent à passer une barrière de potentiel par effet tunnel malgré une énergie largement inférieure à l'énergie nécessaire pour parvenir à ce résultat, le neutron a la possibilité de rencontrer une faille de potentiel lui permettant de pénétrer le noyau des atomes percutés même si sa vitesse initiale est très faible. Ainsi, cela permet une augmentation des chances qu'une réaction se produise étant donné les probabilités rares que ce genre de collision survienne.

Lors de ces collisions, un phénomène de capture survient. Parfois, au lieu de se désintégrer complètement, l'atome ayant capturé le neutron garde sa stabilité mais se retrouve néanmoins avec un neutron supplémentaire (ou parfois plus si par hasard ce phénomène se reproduit à plusieurs reprises avec le même atome). La présence de ce (ou ces) neutrons(s) supplémentaire(s) modifient parfois de beaucoup les propriétés de base de l'atome. Appelée isotope, cette nouvelle « espèce », parfois radioactives et instables, peut se retrouver être à la base d'une réaction en chaîne si un neutron venait à nouveau percuter ce nouvel atome.

Une autre des propriétés du neutron découle d'une hypothèse formulée en premier lieu par E. Rutherford en 1920 lorsqu'il émit en premier l'hypothèse que le neutron puisse être une particule complexe composée d'un proton et d'un électron. Néanmoins, son hypothèse s'avéra être en désaccord avec les fondements de la mécanique quantique, où l'hydrogène s'avère être le seul cas où il est possible d'avoir un unique proton et un unique électron en même temps. Cependant, la théorie du spin est quant à elle en accord avec cette hypothèse si le neutron est considéré comme une particule élémentaire.

Du point de vue actuel de la transformation β des corps radioactifs, on peut formuler l'hypothèse que, dans le noyau, on ait la transformation suivante :



Néanmoins, cette formulation n'est pas tout à fait exacte. En suivant la théorie du spin, si ce dernier est effectivement conservé, l'apparition d'une autre particule élémentaire est nécessaire pour permettre la conservation du spin. Cette particule ainsi intégrée à l'équation est le neutrino de Pauli ; une particule élémentaire de très petite masse, sans charge et de spin $\frac{1}{2}$. Ainsi, l'hypothèse formulée précédemment devient :



Ceci montre en outre que le neutron est lui-même soumis à certaines réactions internes au noyau. Ces réactions se compensant, elles assurent ainsi la stabilité du noyau. En effet, la stabilité du noyau est assurée par trois types d'interactions : les interactions entre les protons, celles entre les neutrons et celles entre les protons et les neutrons. La première tend à faire diminuer le nombre de protons dans le noyau, tandis que la deuxième est supposée très faible du fait que la particule n'est pas électriquement chargée. Quant au troisième type d'interaction, il s'agit de celle qui prédomine au sein du noyau et qui régit les équations Eq.(4) et Eq.(5) assurant ainsi la stabilité du noyau.

4. Conclusion

La découverte du neutron permit une avancée scientifique avant tout dans le domaine du nucléaire, avec d'une part la compréhension du phénomène de fission nucléaire (qui intervient quand un neutron entre en collision avec le noyau d'un atome lourd instable, libérant ainsi une grande quantité d'énergie) ; et d'autre part la création de la bombe atomique, en 1939 grâce aux travaux effectués par I. et F. Joliot-Curie, F. Perrin, H. Halban et L. Kowarski au Collège de France sur la fission de l'uranium et la réaction en chaîne², à partir des travaux de L. Meitner sur le phénomène de fission.

² http://www.curie.fr/fondation/musee/irene-frederic-joliot-curie.cfm/lang/_fr.htm

Quant aux autres applications³ pouvant être données au neutron, on peut citer l'ionisation de la matière. Le neutron étant à la base neutre, il ne produit pas directement une ionisation. Mais sur son passage à travers la matière, il peut entraîner de nombreuses réactions (comme par exemple la capture radiative ou encore la diffusion inélastique) avec les noyaux des atomes qu'il est susceptible de rencontrer ; ainsi que des réactions de production de particules α ou autres, qui produisent des rayonnements ionisants. Donc le neutron peut être considéré à juste titre comme un rayonnement ionisant.

On peut aussi citer la capacité à utiliser les neutrons pour étudier la matière⁴, soit à l'état condensé (par diffusion neutronique par le biais de l'utilisation de rayons de neutrons), soit au niveau de sa structure depuis l'intérieur même des corps de métaux, minerais ou fluides (par diffraction ou par rayonnement neutronique qui est complémentaire des rayons X).

Le neutron peut aussi être utilisé en spectroscopie neutronique pour permettre l'étude d'une manière unique des phénomènes d'excitations des corps, comme par exemple les phonons (quantum de vibration) et les vibrations atomiques.

Ainsi, la découverte du neutron a mené à de nombreuses avancées technologiques dans le domaine de la physique moderne et de la physique nucléaire ; mais principalement dans la compréhension de la nature même du noyau atomique et des réactions pouvant intervenir à l'intérieur de ce dernier.

Références

[1] E. Rutherford, *Nuclear Constitution of Atoms*, Bakerian Lecture, 1920.

[2] J. Chadwick, *The neutron and its properties*, Nobel Lecture, 1935.

³ <http://en.wikipedia.org/wiki/neutron>

⁴ http://neutron.nrc-cnrc.gc.ca/neutron_f.html

Mise en évidence expérimentale du neutrino

Appert Florian

Panorama de la Physique, L2 MPM, Promotion 2008-2009

Résumé

In 1930 Wolfgang Pauli proposed a solution to the missing energy in nuclear beta decays, namely that it was carried by a neutral particle. This was in a letter to the Tübingen congress. Enrico Fermi in 1933 named the particle the "neutrino". But the neutrino was only detected for the first time in 1953 because it could penetrate several light years depth of ordinary matter before they would be stopped.

1 Le neutrino, une particule pour expliquer la désintégration β

En 1911, Lise Meitner (1879-1968) et Otto Hahn (1879-1968) analysent le spectre d'énergie de l'électron qui s'échappe du noyau radioactif lors d'un rayonnement β , ils trouvent que ce spectre est continu [1]. Ce résultat est en contradiction avec la loi de conservation de l'énergie, car cet électron aurait dû avoir une énergie bien fixée. Ce n'est qu'en 1914 que James Chadwick (1891-1974) montre définitivement que ce spectre est continu [2]. Seize ans plus tard, en 1930, Wolfgang Pauli (1869-1955) suggère de faire intervenir une particule supplémentaire encore non observée [3] :

«J'ai découvert un remède inespéré pour sauver les lois de conservation de l'énergie et les statistiques. Il s'agit de la possibilité d'existence dans les noyaux de particules neutres de spin, obéissant au principe d'exclusion, mais différentes des quantas de lumière car elles ne se meuvent pas à la vitesse de la lumière, et que j'appelle neutrons.»

Pauli a fait cette hypothèse deux ans avant que Chadwick ne découvre le neutron [4], c'est pourquoi il nomma cette nouvelle particule «*neutron*». En 1933, Enrico Fermi (1901-1954) publie sa théorie sur la radioactivité β , que nous allons détailler dans la partie suivante, dans laquelle il inclut le neutrino [5, 6]. Francis Perrin (1901-1992) estime, peu après la publication de la théorie de Fermi, que « [sa] masse doit être nulle - ou tout au moins petite par rapport à la masse de l'électron » [7].

1.1 La radioactivité β et l'énergie manquante

Dans tous les types de rayonnement radioactif, un noyau radioactif n'émet pas seulement un rayonnement α , β ou γ , mais il convertit également une partie de sa masse en énergie. Pour satisfaire la loi de conservation de l'énergie, la quantité d'énergie avant et après la réaction doit rester constante, donc la différence de masse doit apparaître sous une autre forme à l'état final. Les premières expériences sur la radioactivité β suggéraient qu'un noyau se désintègre en deux corps, le noyau transmuté et un électron (Fig. 1).

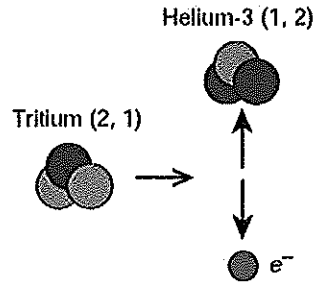


FIG. 1 – Désintégration β formant deux corps

Si un noyau au repos se désintègre en deux corps, les lois de conservation des moments et de l'énergie impliquent que les deux corps doivent être séparés avec des moments opposés et que l'électron issu de la désintégration β est émis avec une énergie constante. De plus, cette énergie serait de l'ordre de plusieurs millions d'électronvolts, alors que l'énergie de masse au repos d'un électron est d'environ 0.51 MeV

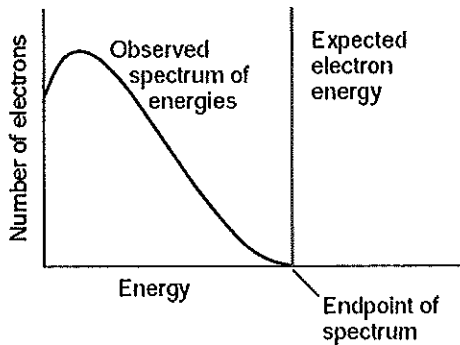


FIG. 2 – Spectre d'énergie d'une électron issu d'une désintégration β

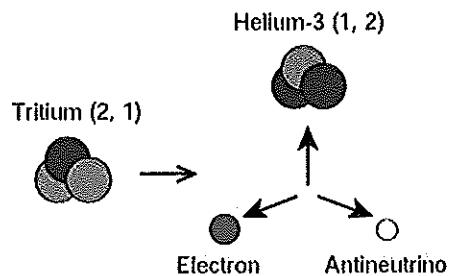


FIG. 3 – Désintégration β formant trois corps

Le graphique ci-dessus (Fig. 2) montre les résultats inattendus obtenus expérimentalement. Les électrons issus de la désintégration β ne sont pas émis avec une énergie constante. Au lieu de cela, ils sont émis avec un spectre continu qui s'étend jusqu'à la valeur prévue.

La solution de Pauli à ce problème énergétique est de proposer que le noyau qui subit une désintégration β ne se transforme pas en deux, mais trois corps : le noyau final, l'électron et un nouveau type de particule, électriquement neutre, au moins aussi énergétique que l'électron et très difficile à détecter (Fig. 3). Ainsi le principe de conservation de l'énergie est respecté.

2 Deux premières expériences de détection qui n'aboutissent pas totalement

2.1 Los Alamos : Neutrino provenant d'une explosion nucléaire

En 1944, Frederick Reines (1918-1998) rejoint le projet Manhattan et devient membre l'équipe théorique. Cette équipe, intéressée par les questions fondamentales, mit à profit ces nouvelles expériences (les essais d'armes nucléaires) pour étudier de nouveaux phénomènes. Les physiciens

présents se rendent compte de l'intense flux d'anti-neutrino qui doit être produit au moment de la fission des noyaux atomiques.

En 1951, Reines pense utiliser ce rayonnement intense pour détecter le neutrino. Il fait part de son idée à Enrico Fermi. Il estime qu'il faudrait une masse sensible d'environ une tonne pour arrêter quelques neutrinos. D'après Reines, «Notre connaissance du spectre d'énergie des neutrinos provenant d'une bombe à fission suggère que l'inverse de la réaction de désintégration β se produirait plusieurs fois dans un détecteur de plusieurs tonnes situé à environ 50 m d'une explosion de 20 kt »¹ Mais le fait de réaliser une expérience aussi proche de la bombe le décourage (Fig. 4).

Ni Reines, ni Fermi n'a su comment construire un si grand détecteur. Cependant, Fermi et Bethe continuaient à penser que la bombe était la source de neutrino la plus prometteuse, tandis que Reines s'orientait vers une autre source de neutrino : les premiers réacteurs nucléaires civils. Vers la fin 1951, Reines rejoint Clyde Cowan (1919-1974) et débute le «Projet Poltergeist», la première expérience portant sur les neutrinos.

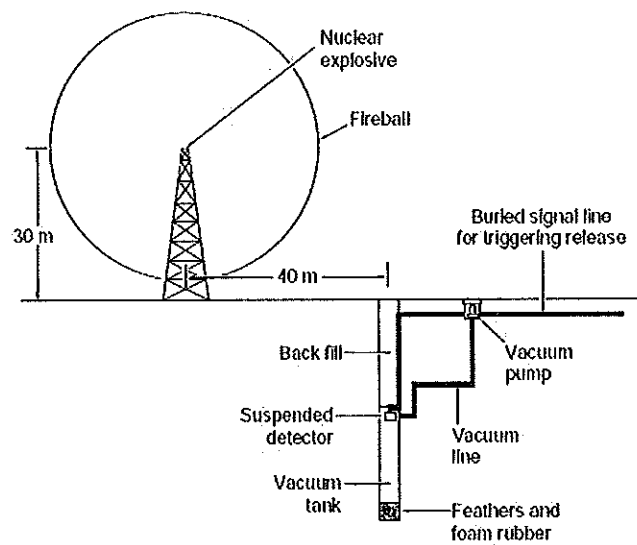


FIG. 4 – Schéma de l'expérience imaginée par Reines et Cowan

2.2 Le projet Poltergeist : l'expérience d'Hanford

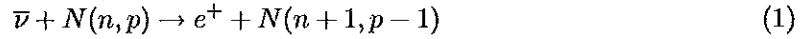
En 1953, Reines et Cowan installent un détecteur près du réacteur nucléaire de Hanford, dans l'état de Washington. Les premiers résultats sont obtenus durant l'été 1953, mais le signal n'est pas convaincant [8]. En effet, les positrons produits trouvent rapidement un électron avec lequel s'annihiler. Ils disparaissent d'une manière très caractéristique qui sert à les identifier sous forme de deux photons gamma de 0.511 MeV, émis simultanément dans des directions opposées. Mais Cowan et Reines réalisèrent que cette signature ne constituait pas une preuve suffisante de l'interaction d'un antineutrino. Ils cherchèrent en plus à mettre en évidence la présence d'un neutron pour confirmer la réaction.

¹Notes de Reines non publiées

3 L'expérience qui confirme l'existence du neutrino

3.1 Principe de l'expérience

La théorie de Fermi sur l'interaction faible prévoit qu'un neutrino peut provoquer une inversion de la réaction de désintégration β . En particulier un antineutrino peut occasionnellement interagir avec un noyau par le biais de l'interaction faible et transformer un proton du noyau en un neutron :



où n est le nombre de neutrons et p le nombre de protons. Dans le cas d'un atome d'hydrogène, la réaction produit un neutron et un positron (e^+) :



Reines et Cowan choisirent cette dernière réaction pour détecter le neutrino.

3.2 Fonctionnement du détecteur

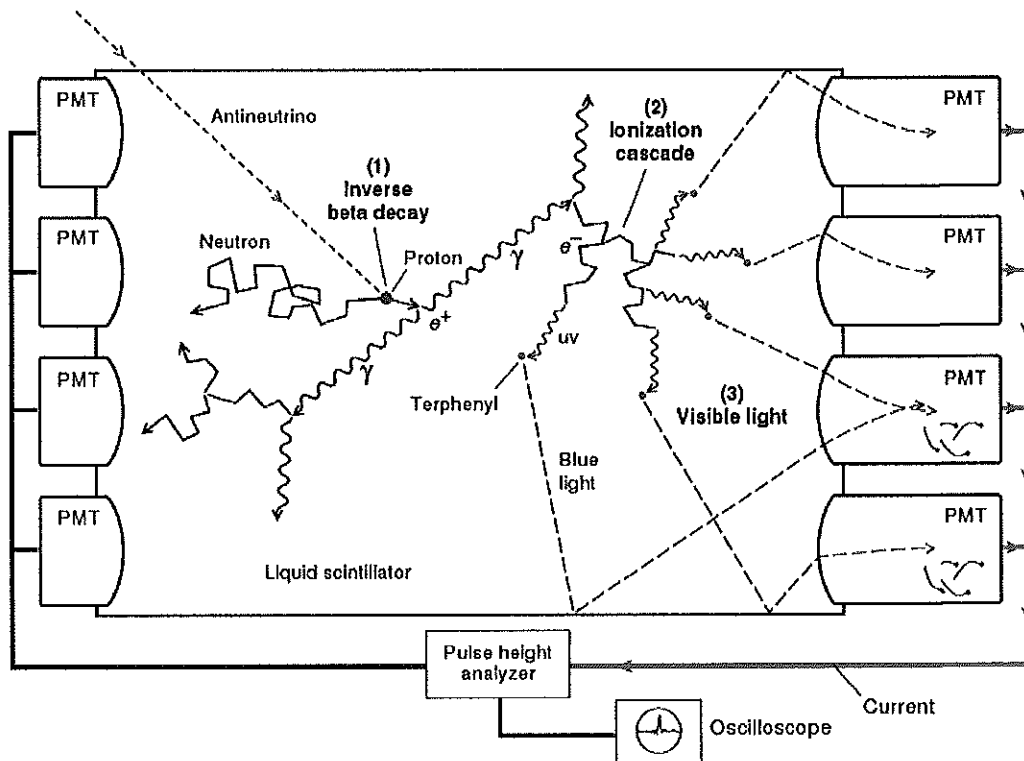


FIG. 5 – Fonctionnement du détecteur de neutrino de Reines et Cowan

Le détecteur de Reines et Cowan est constitué de matériaux organiques scintillants (Liquid scintillator) et de tubes photomultiplicateurs (PMT), les «yeux» qui détectent les positrons provenant de la désintégration β inverse, et donc du neutrino que cette réaction induit. Le schéma (Fig. 5) montre comment le scintillateur liquide convertit une fraction de l'énergie du

positron en un bref flash de lumière visible. La lumière parcourt le scintillateur liquide jusqu'au PMT où le photon est converti en un signal électrique témoin de la présence du positrons.

Tout d'abord, (1) un antineutrino interagit avec le proton d'un noyau d'hydrogène. D'après la réaction inverse de désintégration β (Eq. (2)) le proton et l'antineutrino se transforment respectivement en un neutron et un positron.

Détection du positron

Lorsque le positron rencontre un électron, les deux particules s'annihilent en émettant deux rayons γ dans des directions opposées. Chaque rayon gamma perd environ la moitié de son énergie à chaque fois que le photon rencontre un électron (effet Compton [9]), cela finit par créer une cascade d'ionisation (2) qui produit rapidement un grand nombre de photons ultraviolets. Le scintillateur est un liquide très transparent (toluène) combiné à du terphényle. Lorsque celui-ci est excité en absorbant un photon ultraviolet, il émet des photons visibles en retournant à un état de plus basse énergie. Une partie des photons visibles est collectée par les PMTs du dispositif, le reste est absorbé par les nombreuses réflexions contre les parois du dispositif dépourvues de PMTs.

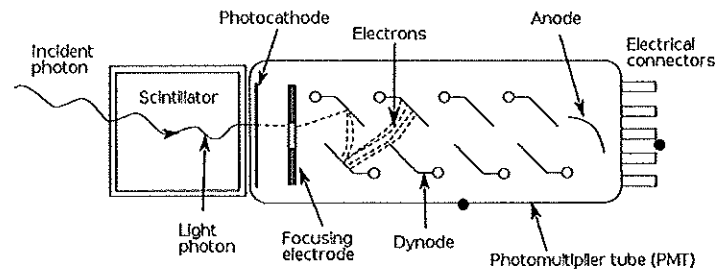


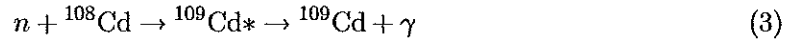
FIG. 6 – Fonctionnement d'une photomultiplicateur à tubes (PMT)

Un photomultiplicateur (Fig. 6) est constitué d'un tube à vide contenant une photocathode, plusieurs dynodes et une anode. Les photons incidents frappent la photocathode qui émet alors des électrons (effet photoélectrique [10]). Les électrons sont alors dirigés, par l'intermédiaire de l'électrode de focalisation, vers les dynodes qui vont multiplier les électrons par un mécanisme d'émission secondaire, qui ressemble à l'effet photoélectrique mais avec des électrons comme particule incidente. Chaque dynode possède un potentiel plus grand que celle qui la précède, ce qui permet d'attirer les électrons vers la dynode suivante. Les électrons, qui quittent la photocathode, possèdent une énergie équivalente à celle du photon incident. Ils sont accélérés par le champ électrique et arrivent donc sur la première dynode avec une énergie beaucoup plus importante qu'à l'origine. Lorsqu'il frappent la dynode, d'autres électrons sont produits, de moindre énergie mais beaucoup plus nombreux. Ces électrons sont ensuite accélérés en direction de la deuxième dynode et le processus continue. Lorsque l'anode est atteinte, l'accumulation de charges crée une brève impulsion de courant qui marque l'arrivée d'un photon sur la cathode. Le photomultiplicateur a été inventé en 1936 par Vladimir Zworykin [11].

Détection du neutron

Lors de l'expérience de Savannah River, ils ajoutèrent du chlorure de cadmium dans le volume d'eau servant à la fois de détecteur et de cible. Le cadmium est un grand absorbeur de neutrons.

Absorbant un neutron, le cadmium-108 forme un noyau excité de cadmium-109 qui se désexcite ensuite par émission d'un rayon gamma qui peut être détecté de la même façon que les rayons γ émit lors de l'annihilation d'un positron et d'un électron.



Le dispositif expérimental est conçu de telle façon que le troisième photon γ soit détecté moins de 5 millièmes de seconde après les deux photons γ du positron. La détection de trois photons γ dans un intervalle de temps si court constituait une signature indubitable de la présence du neutrino. Reines et Cowan accumulèrent des données pendant plusieurs mois, à raison de trois évènements neutrinos par heure [12].

Ils vérifièrent que ces évènements disparaissaient quand le réacteur était arrêté. Ils mesurèrent enfin, pour cette réaction bêta inverse, un taux de réaction compatible avec les prévisions théoriques de Hans Bethe (1906-2005) et Rudolf Peierls (1907-1995) [13].

4 Conclusion

Sur 10 milliards de neutrinos de 1 MeV qui traversent la Terre, seul un va interagir. Il faudrait une épaisseur d'une année-lumière de plomb pour arrêter la moitié des neutrinos qui la traversent. Cette difficulté de détection des neutrinos explique qu'il a fallu plus de 20 ans entre son "invention" par Pauli et sa mise en évidence expérimentale par Reines et Cowan. Depuis le neutrino et son antiparticule n'ont cessé de jouer un rôle très important dans la physique des particules élémentaires. N'étant pas chargés électriquement, ils ne subissent que l'interaction faible (la gravité bien que présente est négligeable), ce qui permet d'étudier celle-ci dans des conditions excluant tout "bruit de fond" dû aux autres interactions.

Références

- [1] Otto. v. Baeyer, Otto Hahn and Lise Meitner. Magnetische Spektren der β -Strahlen des Radiums. *Phys. Z.*, **12** :1099–1101, 1911.
- [2] J. Chadwick. Intensitätsverteilung im magnetischen Spektrum der β -Strahlen von Radium B+C. *Verh. dtsh. phys.*, **16**, 1914.
- [3] W. Pauli. Traduction de la lettre adressée à Lise Meitner et Hans Geiger. Décembre 1930.
- [4] J. Chadwick. The Existence of a Neutron. *Proc. Roy. Soc A*, **136**, 1932.
- [5] E. Fermi. Tentativo di una teoria dei raggo β . *Nuovo Cimento*, **11**, 1933.
- [6] E. Fermi. Versuch einer Theorie der β -Strahlen. *Zeitschrift fur Physik*, **80**(3-4), Mars 1934.
- [7] F. Perrin. Possibilité d'émission de particules neutres de masse intrinseque nulle dans les radioactivités β . *Comptes Rendues*, **197** :1625, 1933.
- [8] Cowan, C. L. Reines, F. Harrison, F. B. Anderson, E. C. and Hayes. Large Liquid Scintillation Detectors. *Phys. Rev.*, **90**(3) :493–494, May 1953.
- [9] Compton, Arthur H. A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements. *Phys. Rev.*, **21**(5) :483–502, May 1923.
- [10] Einstein, A. On a Heuristic Point of View about the Creation and Conversion of Light. *Annalen der Physik*, **17** :132, 1905.
- [11] V.K. Zworykin, G.A. Morton and L.Malter. The secondary-emission multiplier-a new electronic device. *Proc. IRE*, **24** :351–375, 1936.
- [12] C.L. Cowan, Jr., F. Reines, F.B. Harrison, H.W. Kruse, and A.D. McGuire. Detection of the Free Neutrino : A Confirmation. *Science*, **124**(3212) :103–104, July 1956.
- [13] H. Bethe and R. Peierls. The Neutrino. *Nature*, **133** :532, 1934.

Les premières réactions nucléaires à particules accélérées.

DUBUC Fabien, SANIEZ Pierre

Article de Mécanique, Physique, Matériaux L2, Promotion 2008-2009

Résumé

The purpose of this file concerning first interaction with particle accelerated. We will talk about first accelerator particle and why the researchers wanted accelerated then. After the discovery of radioactivity the physicist thought to use radioactivity like source of particle.

1. Introduction

La fin du XIXe siècle fût marquée par la découverte de la radioactivité naturelle. Les particules émises par les noyaux radioactifs ont été utilisées pour étudier la constitution de la matière. Ernest Rutherford (1871-1937) (Fig. 1) confirma cette idée en bombardant une feuille d'or avec des particules.

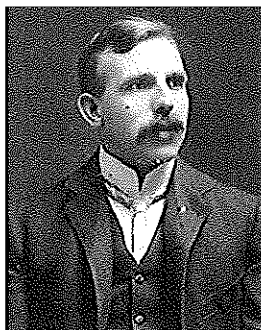


Fig.1: *Ernest Rutherford*

Les premières réactions nucléaires avec particules accélérées ont été observées en 1919. En effet Rutherford a transformé un atome d'azote en un isotope d'atome d'oxygène en le bombardant avec un isotope radioactif naturel.

Rutherford s'est rendu-compte qu'il fallait plus d'énergie lorsqu'il s'agissait de travailler des éléments plus lourds. L'énergie (E) d'une particule dans un champ électrique correspond au produit de sa charge (q) multiplié par la tension (U) du champ : Eq. (1). Il eut donc l'idée d'accélérer les particules dans un vide en les soumettant à une très forte tension.

$$E = qU$$

En 1928, Ernest Orlando Lawrence (1901-1958) (Fig. 2), chercheur à l'université de Californie, a fait le même constat : il bombardait des atomes avec des particules α et des protons. La conclusion était la même : il faut plus d'énergie afin que la longueur d'onde associée des particules soit la plus faible possible pour pouvoir sonder la matière le plus finement possible.



Fig. 2 : *Ernest Orlando Lawrence*

2. Découvertes

La même année, Rolf Widerøe (1902-1996), physicien et ingénieur suisse d'origine norvégienne travaillant à Aix-la-Chapelle, (Fig. 3) construisit le premier accélérateur de particule en s'appuyant sur l'idée de Rutherford.



Fig. 3 : *Rolf Widerøe*

Cet accélérateur était de type linéaire (Fig. 4). Widerøe utilisait un champ électrique diffusé dans des électrodes savamment calibrées et espacées pour être synchronisé avec la fréquence du champ électrique. Mais, afin que les ions arrivent entre deux électrodes au bon moment pour « voir » un champ électrique accélérateur, ces électrodes tubulaires doivent être de plus en plus longues au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse et, avec la technologie radiofréquence de l'époque, on aboutissait rapidement à des dimensions olympiques.

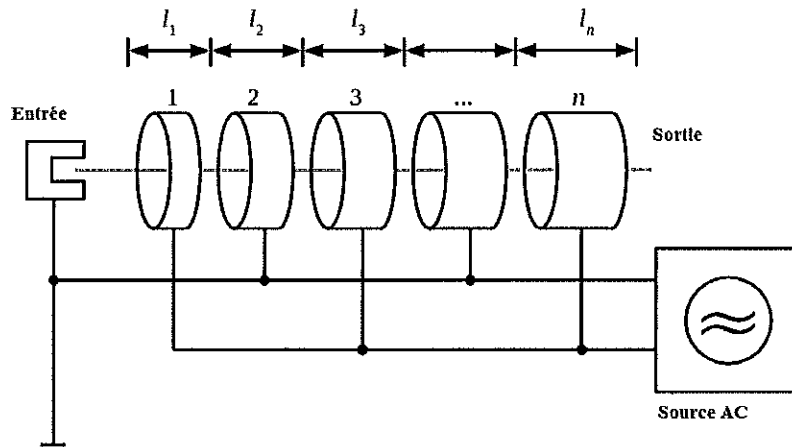


Fig. 4 : *Accélérateur linéaire de Wideröe*

Lawrence pris connaissance de l'article de Wideröe paru dans un journal scientifique allemand et s'en inspira pour ses travaux.

Il utilisa quant à lui un champ magnétique pour accélérer les particules, et eut l'idée d'un accélérateur circulaire : le cyclotron (Fig. 4). La vitesse serait augmentée à chaque passage entre les électrodes. La trajectoire des particules n'est pas un cercle comme on pourrait le croire mais forme une spirale : les particules partent du centre et en gagnant de la vitesse s'écartent jusqu'à être canalisées vers la sortie au bord de l'accélérateur.

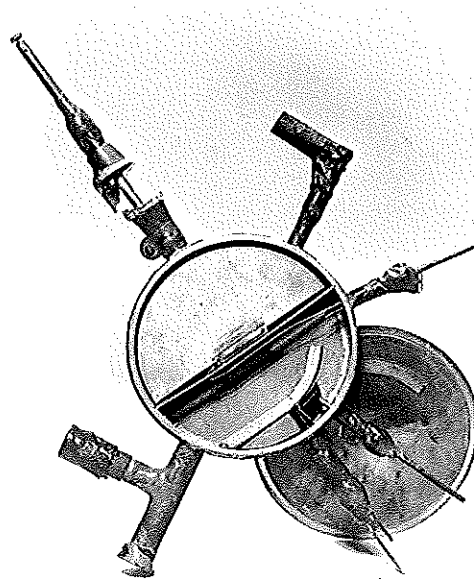


Fig. 4 : *Le cyclotron de Lawrence*

Le problème était alors de pouvoir créer une différence de potentiels suffisamment importante, car comme vu précédemment, l'accélération des particules dépend de la tension du champ électrique.

Des solutions furent apportées par la paire John Douglas Cockroft (Fig. 5) – Ernest Thomas Sinton Walton (Fig. 6) et par Robert Jemison Van de Graaff (Fig. 7).



Fig. 5: *John Cockcroft*



Fig. 6: *Ernest Walton*

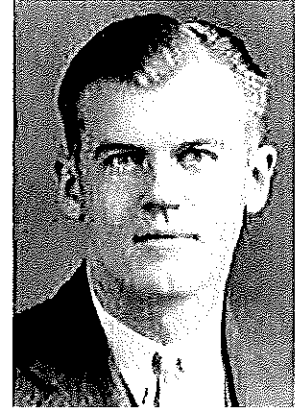


Fig. 7: *Robert Van de Graaff*

Le multiplicateur de tension de Cockcroft-Walton est composé d'une cascade de condensateur et de redresseurs. (Fig. 8). La plus grande différence de potentiels envisageable avec ce multiplicateur de tension est de 10 MV et les particules accélérées avec cette tension obtiennent une énergie de 10 MeV. Ce système leur a permis de casser des particules plus lourdes telles que le Lithium ou le Bore.

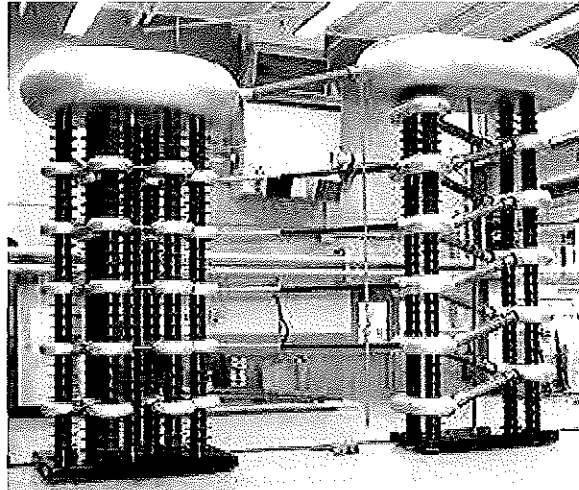


Fig. 8 : *Multiplicateur de tension de Cockcroft-Walton*

Le générateur de tension de Van de Graaff (Fig. 9) est un système qui permet le transport de charges électriques entre deux électrodes proches l'une de l'autre. Il est composé de deux sphères en métal, une grosse et une plus petite. Un tapis roulant fait d'une matière isolante transporte des charges positives vers la plus grande des deux. Celle-ci se charge électriquement ce qui crée une différence de potentiel entre les deux électrodes. Une tension très élevée de l'ordre de 5 à 10 MV DC se crée entre celles-ci. Notons que le premier prototype de générateur produisait une différence de potentiel de 1,5 MV.

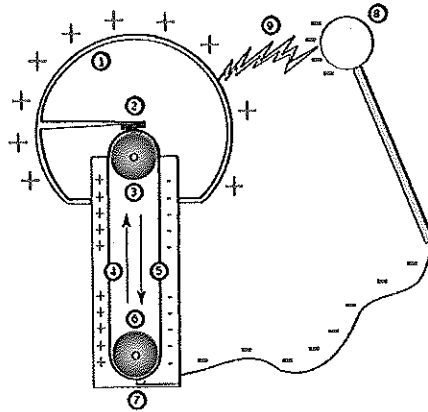


Fig. 9 : Générateur de tension de Van de Graaff

Ce système a l'avantage de fonctionner avec des courants de faible intensité. En plaçant un tube à vide entre la petite sphère et le sol. Les premières accélérations grâce à cette technique permettaient la production de protons accélérés de 600KeV fin 1932, et en 1933 l'accélération atteint 1,2 MeV. Aujourd'hui le générateur de Van de Graaff est notamment utilisé afin de créer des arcs électriques imitant les éclairs de la foudre (Fig. 10).

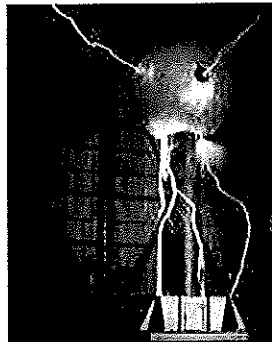


Fig.10 : Eclairs artificiels

3. Conclusion

Depuis les années trente les accélérateurs de particules ont une grande place dans la recherche scientifique. Nombreuses découvertes n'auraient pu être faites sans leurs contributions. La physique des particules, en particulier, a pu bénéficier de ces avancées. Il existe deux grandes familles d'accélérateurs, les linéaires et les circulaires.

Aujourd'hui on peut dénombrer plus de 15000 accélérateurs dans le monde, et une centaine d'entre eux sont des installations importantes possédant de récentes technologies. Ils sont utilisés dans plusieurs secteurs, la recherche des particules, la médecine mais aussi dans le domaine militaire.

Références

www.cpep.lal.in2p3.fr
www.elementaire.lal.in2p3.fr
www.sciences.univ-nantes.fr

Radioactivité et âge de la Terre

Ternois Romain & Coïc Mathieu

Panorama de la Physique, L₂MPM, Promotion 2008-2009.

Abstract

Radioactivity has been a significant contribution to determining the age of the Earth. The study attached, in the first place observed different methods to date the Globe since antiquity. Then it exposed the contribution of radioactivity in this area and examine the arguments of creationists, which contradict the current age accepted by the scientific community

1. Introduction.

D'Aristote à Rutherford, de nombreux scientifiques se sont penchés naturellement sur l'âge de la Terre. Cette question divisa la société en deux communautés qui s'affrontent encore aujourd'hui. D'une part les partisans de la « Terre jeune » (environ 6000 ans) ; on peut citer Isaac Newton, James Ussher, et la communauté religieuse. Et de l'autre les partisans d'une « Terre vieille » (de quelques milliards d'années) comme les Stoïciens ou plus récemment Rutherford. On peut distinguer deux conflits entre les deux « camps ». En premier lieu on peut parler d'un conflit d'orgueil. Les scientifiques ont une certaine fierté naturelle à laisser leur théorie sur un problème non résolu. Il est donc difficile d'admettre la faillibilité de leurs théories face aux avancées scientifiques. On peut aussi observer un conflit de croyances. La communauté religieuse a, depuis les premières écritures saintes, dogmatisé la société sur leur théorie (perçue comme la vérité absolue), l'évidence d'une Terre jeune. L'arrivée il y a un siècle de la théorie darwinienne illustre bien le conflit actuel. Les évolutionnistes croient en une Terre de plusieurs milliards d'années, or les créationnistes (croyant à la thèse biblique de la création) sont persuadés que la Terre a 6000 ans, comme il l'est décrit dans la Bible (épisode du déluge et de la semaine de création).

On peut donc se poser plusieurs questions, comment sommes-nous arrivés au résultat de 4,55 milliards d'années ? Quelles ont été les différentes théories scientifiques ? Quel est l'apport de la radioactivité dans ce domaine ? Comment la religion chrétienne se défend-elle ?

Nous allons tenter de donner une réponse à ces questions en ciblant notre réflexion sur trois axes. Tout d'abord nous établirons une chronologie des théories avancées par les scientifiques. Puis nous illustrerons la méthode de radio-chronologie par l'exemple du rubidium-strontium. Enfin, nous évaluerons la pertinence des contres arguments des créationnistes.

2. Histoire de la géochronologie

En antiquité, deux visions s'opposaient sur la création du monde. Aristote (384-322 av J-C) et ses disciples pensaient que la Terre était éternelle, et n'avait jamais subit de modifications physiques (en surface). Les stoïciens dont Epictète (50-130), n'étaient pas d'accord avec cet équilibre perpétuel, ils pensaient que la Terre avait été formée par une série de grandes catastrophes, qui se sont succédées sans intervalle de temps, et ce processus se répèterait de façon cyclique, éternellement¹. Cette vision catastrophiste fut reprise dans les écritures saintes, notamment avec l'épisode du Déluge et de la création en 6 jours (on parle aujourd'hui d'une théorie catastrophiste-créationniste)². Les premières compilations des âges et des générations de l'ancien testament sont tentées au 1^{er} siècle après J-C par Flavius Josèphe (37-100), puis par Théophile d'Antioche (premier archevêque d'Antioche (115-181)) et Eusèbe de Césarée (265-339), ils affirmaient dans leurs ouvrages que la création du Monde avait eu lieu 5500 ans avant la naissance du Christ².

1. http://www.ulb.ac.be/sciences/gigc/index_fichiers/cours/geochim%20isotopique/cours_geochimie_isotopique_chapitre2.html

2. <http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s4/age.terre.html>

Au Moyen-âge, la religion chrétienne avait une grande importance dans la société. Le clergé possédait le pouvoir grâce à la monarchie (le roi étant désigné comme le premier représentant de Dieu sur Terre, ce qui donne un pouvoir légitime au clergé), il était donc facile d'instaurer le dogme d'une terre Jeune dans la société, et de le répandre à travers le Monde. Ceci n'empêchait pas certains érudits de penser le contraire. On peut citer Jean Buridan, philosophe français du XIV^{ème} siècle de dire^[3] :

« Je suppose que le Monde a perpétuellement existé, bien que ce soit faux au gré de notre foi »

L'hypothèse religieuse n'est donc pas tout à fait encrée dans les mœurs. Ces divergences d'opinions sont illustrées par la contre-réforme catholique du XIV^{ème} siècle¹. Pour la religion, il était urgent de renforcer les positions traditionnelles de l'église concernant la théologie, pour enlever les doutes de la société sur la question. Toutefois c'était encore la théorie biblique qui dominait lors de la Renaissance. On assimilait la bible à un livre d'histoire et même scientifique. Isaac Newton (1647-1727), Johannes Kepler (1571-1630), James Ussher (1581-1656) mesurèrent l'âge de la Terre avec une méthode bien scientifique : le décompte des générations (bibliques); et confirmèrent la thèse religieuse². L'âge de la Terre de James Ussher sera retenu dans les éditions bibliques pendant 300 ans. À en croire cet archevêque anglican, nous avons fêté au début de la nuit du 3 octobre 2008, les 6012 ans de la planète Terre¹ (âge obtenu en 1654).

Il faut attendre le XVIII^{ème} siècle pour avoir d'autres raisonnements scientifiques. Benoît de Maillet (1656-1738) émit l'hypothèse que si la Terre avait émergé des océans, en extrapolant la vitesse d'élévation des continents, le Globe aurait environ 2 Milliards d'années^[2]. Pour ne pas subir les foudres de la communauté religieuse, sa théorie fut publiée 10 ans après sa mort. James Hutton (1726-1797), exposa sa propre théorie (théorie de l'uniformitarisme). En s'appuyant sur le concept de la continuité des processus naturels (taux de sédimentation, d'érosion ...), il observa l'érosion et la sédimentation sur l'île d'Orkney en 1787^[3]. Il en conclut l'impossibilité d'un âge jeune en raison de la lenteur des phénomènes géologiques. Georges Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788), à qui l'on doit les prémices de la théorie de l'évolution et du refroidissement du globe³, est parti de l'hypothèse énoncée par Descartes et Leibniz (que la Terre est initialement fondue), et connaissant la vitesse du refroidissement du globe, il estima que la Terre aurait 75000 ans^[4]. Lord Kelvin reprit ce raisonnement mais utilisa l'outil mathématique de Fourier : les lois de la diffusion de chaleur (refroidissement par conduction). Il relia le gradient géothermique (Température en fonction de la profondeur), au temps^[5]. Grâce à cette équation, il trouva un âge de 25Ma, ce qui ne convenait pas aux géologues, notamment à Darwin. Les géologues mettaient en lumière l'oubli important de Lord Kelvin, la convection (un autre mode de transfert d'énergie). De plus Darwin avait besoin d'un âge beaucoup plus important pour rendre crédible sa théorie de l'évolution. La communauté des géologues allait souffrir de la grande réputation de Lord Kelvin en Europe, et des travaux de Darwin (à l'époque, l'évolution darwinienne était perçue comme une abomination, il était difficile de croire que l'homme possédant une âme, descende du singe, alors que la religion, encore bien présente, diffuse l'idée que l'homme est la création de Dieu). Lord Kelvin, sur de son calcul, proclama même^[5] :

« Il n'y a plus rien à découvrir en physique aujourd'hui, tout ce qui reste est d'améliorer la précision des mesures ».

La découverte de la radioactivité allait avoir des conséquences lourdes sur le bilan énergétique de la Terre, et donc sur la théorie de Kelvin. En effet, Ernest Rutherford découvrit que la Terre ne se refroidissait pas passivement, elle contenait des sources de chaleurs provenant de la désintégration de certains éléments. Ceci discrédita fortement la théorie de Kelvin. Malgré un raisonnement correct de sa part, il débutait sa démarche par une hypothèse fautive : aucune énergie n'est apportée à la Terre, comme la chaleur, depuis sa condensation². En découvrant expérimentalement, en 1902, la loi de désintégration nucléaire avec son élève Soddy, il comprit l'importance de la radioactivité dans la datation géologique. Il exposa ses premiers résultats à l'université de Yale, en 1905.

Rutherford pensait que l'Uranium se désintégrait pour donner du Thorium et aussi des particules alpha, (supposées être de l'hélium)^[6]. Son raisonnement portait donc sur les relations entre les quantités d'hélium, et d'uranium.

3. <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOMhistoireage.xml>

4. <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-conference-duchene.xml>

5. <http://www.attracteur.qc.ca/10-2000/AgeTerre.htm>

Sachant que la quantité d'hélium est proportionnelle au nombre de désintégrations des noyaux d'uranium, et connaissant la quantité en uranium (7% du minerais), en hélium ($1,81\text{g/cm}^3$) dans le minerai d'uranite et l'apport annuel d'atomes d'hélium ($5,2 \cdot 10^{-8}\text{g.cm}^3/\text{an}$)⁴, il était simple d'en extraire le temps t , date de la roche. Il trouva un âge de 140Ma (révisé en 1906 à 500Ma¹, un âge beaucoup plus important que celui de Kelvin, et qui convenait mieux aux géologues pour expliquer l'histoire de la Terre, notamment la lenteur des processus géologiques, et l'évolution de Darwin). Mais cette méthode de datation comportait de nombreuses incertitudes, notamment la quantité de gaz diffusée hors de la Roche. En effet, l'hélium ne reste pas confiné éternellement dans la roche en raison de son état gazeux. Or pour un âge de plusieurs milliers d'années, il était fort probable, qu'une partie s'en soit échappée. De plus en 1909, Rutherford avait la certitude que les particules alpha étaient des atomes d'hélium. Ainsi l'hélium pouvait provenir de la désintégration des autres éléments radioactifs, il était donc impossible d'estimer l'âge d'une roche en mesurant cette quantité. Ce qui n'empêcha pas Robert Strutt (1875-1947) en 1905/1907, d'utiliser cette méthode et de trouver un âge de 250Ma¹. Entre 1903 et 1907, le professeur à L'université de Yale, Bertram Boltwood (1870-1927), remarqua que tous les uranifères (minéraux contenant de l'uranium) possédaient une certaine quantité de plomb. Il en conclut que le plomb était la fin stable de la chaîne de désintégration de l'uranium. Connaissant le taux annuel de production de plomb à partir de l'uranium, et de la teneur actuelle des deux éléments, il était possible d'en déduire l'âge de la Terre. Seulement, la désintégration de l'uranium était beaucoup trop lente pour mesurer le taux annuel de production du plomb. Mais le radium, maillon de la chaîne de désintégration, avait déjà un taux de désintégration connu. Le taux de désintégration de l'uranium étant égal au taux de désintégration du radium, lui même égal au taux de production du plomb, il n'y avait donc plus d'inconnue pour résoudre l'équation⁵. En 1907, après avoir évalué la pertinence de ses résultats, il décida de les publier (environ 1600 Ma). Alfred Nier, scientifique américain, comprit l'importance de la notion d'isotope. L'uranium 238 ne se désintègre pas de la même manière que l'uranium 235 et ils n'ont pas les mêmes produits de désintégrations. Il mit donc en évidence trois chaînes de radioactivité isotopique (uranium 238 / plomb 206, uranium 235 / plomb 207, thorium 232 /plomb 208). Il trouva alors un âge de 2570Ma. En 1946, Artur Holmes et Friedrich Houtermans, étudièrent les travaux de Nier et en conclurent un âge de 3 à 3,4Ga. Pour anecdote, ces calculs bouleversèrent alors le monde de l'astrophysique. En effet, à cette époque, les astrophysiciens pensaient que l'univers avait été créé il y a 1,8 à 2Ga (leur mesures sont faites grâce à la relation de Hubble, qui lie la distance et la vitesse d'éloignement des galaxies). Ce problème sera résolu dans les années 50, en révisant l'échelle des distances intergalactiques. Clair Patterson, en 1953, analysa la composition isotopique des météorites, il remarqua que les météorites et la Terre s'étaient formées au même moment à partir d'un réservoir identique d'uranium. Grâce à l'étude de l'abondance de certains isotopes du plomb (204, 206 et 207) dans des météorites, il calcula l'âge de la Terre. Sur la Terre, tout le plomb 204 est présent depuis le début des temps tandis qu'une partie du plomb 206 et 207 est constamment formée par l'uranium 238 et 235. Ainsi, en comparant les proportions actuelles de plomb et d'uranium de la Terre avec celles du plomb des météorites ne contenant aucune trace d'uranium et avec les courbes de désintégration des différents isotopes de l'uranium, Clair Patterson en arriva à une valeur d'environ 4,6 milliards d'années⁵. Nous avons obtenu les mêmes résultats dans les années 70, par la datation des roches lunaires, avec la méthode de Potassium Argon⁵.

Cette brève chronologie illustre bien, les différentes visions des communautés. D'une part la communauté religieuse a la certitude depuis l'Antiquité que la Terre est jeune, âgé de 6000 ans. D'autre part, les scientifiques progressent lentement, grâce aux avancés technologiques et théoriques (les lois de Fourier, taux de sédimentation, radioactivité) vers un âge beaucoup plus important. Il est intéressant de noter que les scientifiques comme Kelvin, le comte de Buffon, Newton étaient certains de leurs mesures et de l'âge de la Terre, comme aujourd'hui nous sommes certains d'un âge de 4.55 Ga grâce à la radio-chronologie.

3. Datation radiométrique avec la méthode du Rubidium-Strontium

On peut aujourd'hui différencier deux méthodes de datation radiométrique. La première consiste à l'application directe de la loi de Rutherford-Soddy. En connaissant la quantité initiale de l'isotope radioactif, la quantité actuelle, on peut extraire de la loi le temps t . L'exemple le plus utilisé est la désintégration du carbone 14. Cependant, les isotopes rendant possible cette méthode, ont une durée

de demie vie (l'instant t où la quantité de l'isotope radioactif est réduite de moitié par rapport à la quantité initiale) bien trop courte. Pour le carbone, ce temps vaut environ 5730 ans. C'est pourquoi on parle de datation archéologique.

Pour dater l'âge de la Terre nous allons donc utiliser la méthode de datation dite isochrone, que nous allons exposer avec l'exemple du Rubidium-strontium. Le but étant, grâce à la loi de Rutherford et les relations entre l'élément radioactif (ou encore l'élément père) et son produit, l'élément radiogénique (l'élément fils), d'obtenir un système linéaire d'équations, pour obtenir une résolution graphique simple (ou analytique).

Un neutron du noyau de rubidium 87 se transforme spontanément en proton (le noyau du rubidium devient alors un noyau de strontium-87), avec éjection d'un électron et d'un antineutrino Eq. (1):



On parle de radioactivité de type β^- . Ainsi d'après la loi de Rutherford on peut écrire Eq. (2) :

$$N({}^{87}\text{Rb}) = N({}^{87}\text{Rb})_{\text{initial}} \times \exp(-\lambda t) \quad (2)$$

Or d'après (1), le nombre d'atome de strontium-87 formés, est égal au nombre d'atomes désintégrés Eq. (3) :

$$N({}^{87}\text{Sr})_{\text{formés}} = N({}^{87}\text{Rb})_{\text{initial}} \times [1 - \exp(-\lambda t)] \quad (3)$$

En remplaçant la quantité de Rubidium initiale grâce à la relation (2) on a aussi Eq. (4):

$$N({}^{87}\text{Sr})_{\text{formés}} = N({}^{87}\text{Rb}) \times [\exp(\lambda t) - 1] \quad (4)$$

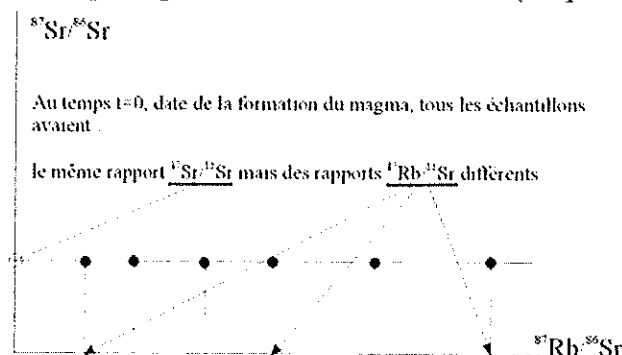
Le nombre total d'atomes de strontium-87 est la somme des atomes présent à l'instant initial plus les atomes formés Eq. (5) :

$$N({}^{87}\text{Sr}) = N({}^{87}\text{Sr})_{\text{initial}} + N({}^{87}\text{Rb}) \times [\exp(\lambda t) - 1] \quad (5)$$

Pour la pratique, on divise tout les termes par le nombre d'atomes de strontium-86 (élément non radioactif) présent dans l'échantillon à cet instant (on mesure des rapports et pas directement la quantité d'éléments radioactifs ou radiogénique) Eq. (6) :

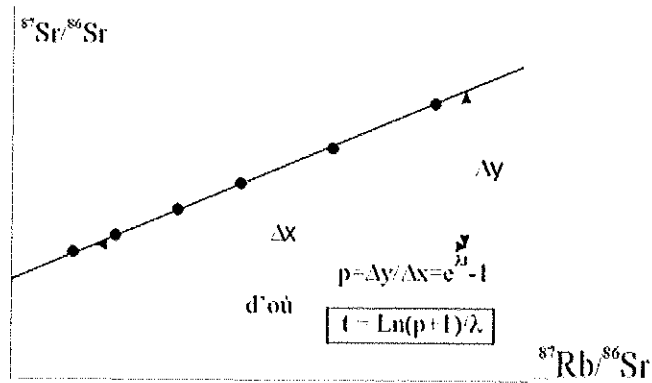
$$\left(\frac{N^{87}\text{Sr}}{N^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{mesuré}} = [\exp(\lambda t) - 1] \left(\frac{N^{87}\text{Rb}}{N^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{mesuré}} + \left(\frac{N^{87}\text{Sr}}{N^{86}\text{Sr}}\right)_{\text{initial}} \quad (6)$$

Nous avons donc l'équation d'une droite affine ($y = ax + b$) où le coefficient directeur dépend du temps. Dans la pratique, les mesures se font généralement sur une roche métamorphique. La roche chimérique est composée de plusieurs minéraux. A la cristallisation, c'est-à-dire la fermeture du système (plus d'échange avec l'extérieur de matière), chaque minéraux présent dans la roche ont le même rapport isotopique initiale de strontium-87 / strontium-86. Toutefois, le rapport quantité élément père sur quantité élément fils varie, ce qui va permettre de tracer la courbe. (Graph. 1)



Graph. 1 : Courbe des différents rapports isotopiques à la formation de la roche.

En mesurant, à l'aide d'un spectrographe de masse les deux rapports, on obtient donc la courbe ci-dessous (Graph. 2) :



Graph 2 : Droite isochrone du couple Rubidium/Strontium

Il est important de noter que chaque point représente un minéral différent du même échantillon de roche. De plus comme les quantités initiales en rubidium-87 sont différentes, il est logique que nous obtenions des quantités différentes en strontium-87. Enfin, il ne faut pas oublier que les mesures prises par les spectrographes sont des moyennes, l'incertitude étant de quelques centaines d'unités.

4. Raisonnements des créationnistes

L'âge de la Terre est une question que l'on trouve également chez les créationnistes. Le créationnisme, né au XIX^{ème} siècle, est un mouvement qui s'oppose au Darwinisme. Il impose la Bible comme seul ouvrage de référence auquel toutes les théories pour tenter d'expliquer le monde qui nous entoure doivent se raccorder. L'âge de la terre doit donc pouvoir concorder avec ce que l'on peut trouver dans la Bible, et plus particulièrement dans le Livre de la Genèse qui raconte les épisodes de la Création et du Déluge, qui sont des éléments clés des théories créationnistes sur le sujet. Ainsi, les créationnistes défendent l'hypothèse d'une terre âgée de seulement quelques milliers d'années, alors que la majorité de la communauté scientifique a adoptée l'idée que la Terre existerait depuis environ 4,55 milliards d'années⁶. Ils utilisent pour cela différentes méthodes basées sur des processus physiques tel que la radioactivité.

La datation par la méthode de l'hélium issu de la désintégration de l'uranium est une méthode récurrente chez les créationnistes. Leur principal argument pour prouver que la Terre est jeune consiste à dire qu'à la vue des taux d'émanation d'hélium vers l'atmosphère, celle-ci devrait contenir beaucoup plus d'hélium que ce que nous mesurons actuellement⁶. Dans des articles publiés sur le site de l'association de science créationniste du Québec, Mark Stewart et Julien Perreault, scientifiques créationnistes, développent une méthode pour calculer l'âge de la Terre. Ils utilisent la quantité d'hélium dans l'atmosphère connue à ce jour comme étant égale à $3,5 \cdot 10^{15}$ g et l'apport d'hélium chaque année égal à $3 \cdot 10^{11}$ g/an. Par une simple division ils obtiennent un âge inférieur à 12000 ans⁶. Ceci suppose un apport constant d'hélium depuis la formation de la Terre et de son atmosphère. Ils partent également du principe que l'hélium ne peut en aucun cas s'échapper vers l'espace⁶. Ce calcul ne démontre rien, car il a été prouvé que l'hélium s'échappait de l'atmosphère de différentes manières et ceci à des taux semblables à ceux de production^[7]. Une autre méthode est développée par Russell Humphreys⁶. Elle consiste à mesurer la quantité d'hélium contenue dans les zircons, de petits cristaux denses et durs, composés d'uranium. En prenant en compte le fait que l'hélium puisse s'échapper des zircons, l'équipe de chercheurs du projet RATE (radio-isotope, age of the Earth) trouvent qu'il reste beaucoup plus d'hélium que ce à quoi ils s'attendaient. Ils expliquent cela en concluant que si les atomes n'ont pas eu le temps de s'échapper, c'était parce que la Terre était beaucoup plus jeune que ce que la communauté darwinienne voulait bien démontrer. Il est intéressant de noter que les échantillons ont été prélevés dans une zone volcanique du nouveau Mexique, l'activité géologique y est donc très importante, et les minéraux ne sont pas en système fermé (plus d'échanges matériels avec l'extérieur). Or la datation radiométrique n'est valable que pour les systèmes fermés. Pour mieux analyser le raisonnement du créationniste, partons du principe cité dans les écritures saintes :

« Jésus-Christ a insisté sur le fait de la divine autorité du premier Livre de la Bible et l'a cité à plusieurs reprises comme étant vrai et basé sur des faits reconnus de l'histoire (Mathieu 19:4; Luc 17:29,32) »

Le Déluge occupe ainsi une place prépondérante⁶ dans leurs arguments visant à décrédibiliser les théories évolutionnistes. En effet une telle catastrophe aurait forcément un impact sur les processus physiques et géologiques. C'est pourquoi les créationnistes invoquent la désintégration accélérée quand il est impossible de contre-argumenter (la vitesse de désintégration augmenterait donc pendant le déluge, ce qui explique la grande quantité d'éléments radiogéniques observée dans certaines roches). Comme nous avons pu le voir, ils n'hésitent également pas à écarter les données qui pourraient compromettre leurs résultats ou à faire leurs expériences et leurs calculs dans de mauvaises conditions. Une activité courante chez eux consiste à rechercher la moindre petite faille dans une théorie évolutionniste. Bien qu'ils utilisent la radioactivité pour chercher l'âge de la terre, avec l'hélium, (on peut donc douter de la pertinence de leurs calculs si on assimile cette méthode avec celle de Rutherford en 1905). De plus, ils critiquent les datations radiométriques donnant un âge d'environ 4,55 milliards d'années. Ils invoquent pour cela la raison que la radioactivité est un processus aléatoire alors que de nombreux résultats concordent. (Datation des météorites et des roches lunaires)

Les théories évolutionnistes ont effectivement quelques imprécisions et n'ont pas forcément réponse à tout, ce qui lui vaut toujours le statut de théorie, mais la vraie démarche scientifique consiste à affiner ces dernières grâce à de nouvelles mesures ou de nouvelles idées venant des chercheurs. Si on découvre plus tard que les observations ne concordent pas avec une partie d'une théorie, on l'écarte alors et on en propose une nouvelle qui tenterait d'expliquer ces nouvelles observations en tenant compte des faits déjà connus. Les créationnistes, eux, partent du principe que le moindre verset de la Bible doit être considéré comme un postulat. L'intégralité des questions de l'Homme, sur la Nature, est dite de façon explicite ou implicite dans la Bible.

5. Conclusion

La salinité des océans, la continuité des processus géologiques, le refroidissement du globe, sont autant de raisonnements scientifiques ayant précédés la radio-chronologie. La Détermination de l'âge de la Terre est un exemple remarquable pour illustrer l'Histoire des Sciences. En analysant la chronologie, nous dégageons l'idée qu'une question à un problème scientifique n'est pas spontanée, et fait appel à de nombreux facteurs dont les moyens technologiques, théoriques (découverte des lois de diffusion de chaleurs, radioactivité), les mœurs (dogmatisation de la part de la religion). Il aura fallu l'histoire de l'humanité toute entière pour arriver au résultat actuelle, de 4,55Ga. Un âge encore soumis à discussion, notamment par la communauté chrétienne. Seulement nous avons pu remarquer la faible pertinence de cette communauté, qui assimile trop facilement le mot Science à Théologie et métaphysique. Il est amusant de noter que si nous tenons compte de l'âge donné par la radio-chronologie, que la distance séparant le nez de la main lorsque nous étendons le bras représente l'histoire du globe et un simple coup de lime sur l'ongle du médius suffit pour effacer toute l'histoire de l'humanité

Références

- [1] H. Poincaré, *Science et Méthode comme exemple de livre*, Flammarion, 1908.
- [2] Benoît de Maillet, *Telliamed*, 1984
- [3] James Hutton, *The theory of the earth*
- [4] Buffon, *Les époques de la nature*, 1779
- [5] Kelvin, *Traité des sciences naturelles*, 1900.
- [6] E. Rutherford, *Bakerian Lecture : Nuclear Constitution of atoms*, 1920.
- [7] P.M. Banks ET T.E. Holzer tirer de « *Journal of Geophysical Research* » n°74. *Atmospheric helium and geomagnetic field reversals* de W.R. Sheldon ET J.W. Kern tiré de « *Journal of Geophysical Research* » n°77.

6. www.creationnisme.ca : rubrique publications, articles

Découverte de la radioactivité artificielle.

Voivenel Léa & Roger Thomas

Panorama de la Physique, L2MPM, Promotion 2008-2009.

Abstract

The artificial radioactivity is a transmutation of an atom to another. This transformation was realized for the first time by Ernest Rutherford in 1919. However, the adjective "artificial" is more used to designate the formation of an isotope which does not exist in the natural state. The term "artificial radioactivity" was invented by the scientific community in 1934. This discovery led to great progress in many areas.

1. Introduction.

En 1902, Ernest Rutherford, alors professeur à l'université de Mc Gill au Canada, et Frédéric Soddy étudient la désintégration du thorium. Ils concluent de leur expérience que la radioactivité est un phénomène atomique spontané qui s'accompagne de changements chimiques et de la production de nouveaux éléments ^[1]. Cette découverte ouvre la porte à des études plus approfondies sur la désintégration radioactive. En effet, celle-ci est un phénomène naturel mais peut-être est-il possible de la provoquer?

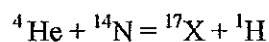
2. Rutherford: Les premiers pas de la radioactivité artificielle.

En 1919, Ernest Rutherford (1871-1937) bombarde de l'azote gazeux enfermé dans un cylindre avec des particules α provenant du radium gazeux Radium C (Bi^{234}). Il constata que même après l'arrêt du bombardement de l'azote, le tube continuait à émettre des scintillations sur un écran alors que celles-ci auraient dû cesser: l'écran étant placé trop loin pour qu'elles soient dues aux particules α . En déviant ces scintillations grâce à un champ électrique et magnétique Rutherford se rendit compte qu'il s'agissait de particules d'hydrogène. ^[2]

Il tire de ces résultats une interprétation assez visionnaire qu'il expose dans son article, pour lui:

"Puisque le noyau d'azote possède quatorze charges d'électricité positive et qu'il a absorbé un corpuscule d'hélium possédant quatre charges, il en perd une avec l'hydrogène; il lui en reste donc dix sept. Le noyau de sept charges s'est transmuté en un noyau à huit charges"^[2].

Autrement dit, il obtint une équation à une inconnue:



En 1913, Rutherford et Frédéric Soddy (1877-1956) découvrirent que plusieurs substances ayant des propriétés radioactives et un poids atomique différents étaient en fait le même élément chimique. Soddy les nomma isotopes. ^[3] Ceci explique que Rutherford déduisit tout de suite que l'inconnue de son équation était un isotope de l'oxygène. Avec son expérience, Rutherford a donc découvert que la désintégration d'un atome s'accompagne d'une transmutation de celui-ci. Ce fut la première désintégration artificielle !

Les expériences de Rutherford sur le bombardement d'un atome par des particules α étaient essentiellement basées sur la décomposition d'atomes complexes en d'autres plus simples, il avait également entrepris des expériences sur le procédé inverse mais sans succès. Les résultats obtenus par

Rutherford furent très médiatisés non seulement parce qu'ils constituaient une avancée scientifique importante mais aussi parce qu'en transformant un élément en un autre il touchait au mythe de l'alchimie. L'article du Times fait même référence à des scientifiques allemands qui auraient trouvé le moyen de transformer du plomb en or!^[4]

WAY TO TRANSMUTE ELEMENTS IS FOUND

**Dream of Scientists for a Thou-
sand Years Achieved by
Dr. Rutherford.**

NEW AGE, SAYS RICHARDSON

**Remarkable Result of Bombarding
Nitrogen Gas With the Alpha
Rays of Radium.**

Fig. 1 : Une du New York Times, datant du 8 janvier 1922.

Assisté de son élève James Chadwick (1891-1974), Rutherford poursuit ses expériences sur la désintégration des noyaux sous un bombardement de particules α . Ils publient en 1921 un article dans le Philosophical Magazine, où ils affirment que les noyaux de bore, d'azote, de fluor, de sodium, d'aluminium et de phosphore se désintègrent en émettant un proton.^[5]

En 1924, Chadwick et Rutherford publient un nouvel article dans lequel ils décrivent le procédé leur ayant permis de rendre les résultats obtenus indépendants des particules α longue portée et des noyaux d'hydrogène provenant de la source.^[6] Ils écrivent également qu'avec ces nouvelles précautions et conformément à leurs expériences précédentes tous les noyaux du bore au potassium se désintègrent en émettant une particule d'hydrogène. Ils émettent toutefois une restriction: l'oxygène et le carbone ne semblent pas réagir. De plus, aucune preuve ne leur permet d'affirmer que les noyaux légers d'hydrogène, d'hélium et de lithium subissent une désintégration.

Enfin si le béryllium émet de faibles scintillations, Rutherford et Chadwick supputent que celles-ci sont dues à des impuretés. Ils en concluent que ces noyaux sont soit très petits, soit très stables, à moins que chaque particule libérée ait une portée très faible. Il est possible que le bombardement par des particules alpha de plus grande énergie offre de meilleurs résultats. Chadwick et Rutherford comparent les résultats qu'ils ont obtenus pour divers éléments, comme le néon par exemple, avec ceux obtenus par Gerhard Kirsch(1890-1956) et Hans Pettersson(1902-1984) . En effet, Rutherford et son élève observent que ces éléments éjectent un nombre de particule très inférieur à celui observé pour l'aluminium et que celles-ci ont une portée comprise entre 16 et 30cm [*]. De leur côté, Kirsch et Pettersson trouvent que les noyaux de soufre et de chlore ne réagissent pas ou peu, et que quant à eux les noyaux de béryllium, magnésium et silicium émettent 3 à 4 fois plus de particules que l'aluminium, avec une portée de 12 cm pour le béryllium et 18 cm pour le magnésium et le silicium. Pour Rutherford, le fait que leurs résultats ne puissent se concilier s'explique, au vue du nombre de particules et de leurs portées, par le fait que Pettersson et Kirsch ont observé les particules α de longue portée émise par la source...^[6]

3. Les Joliot-Curie : en route vers de nouveaux éléments.

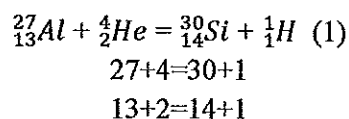
Si Ernest Rutherford réalise en 1919 la première transmutation artificielle, Frédéric (1900-1958) et Irène Joliot-Curie (1897-1956) réalisent quant à eux la synthèse d'un élément radioactif en bombardant une feuille d'aluminium avec des particules α émises par le Polonium, qu'ils baptisent : radiophosphore. Cet élément fabriqué est un élément qui n'existe pas dans la nature ou plutôt qui n'existe plus. En effet, Georges Lemaitre (1894-1966) publie un article ^[7] dans lequel il explique que si certains isotopes sont inconnus c'est parce qu'ils sont instables et que leur demi-vie est très courte. Ceux-ci ont donc existé mais se sont désintégrés.

*"L'uranium ne peut subsister en moyenne que 4 ou 5 milliards d'années avant de faire sa transformation. Le Thorium se comporte d'une façon analogue. Si nous étions apparus sur la Terre 100 milliards d'années plus tard, il n'y aurait plus de quantité appréciable de substances radioactives et nous terminerions sans doute le tableau des éléments au bismuth et au plomb."
"Ne sommes nous pas arrivés trop tard pour connaître des éléments plus lourds qui se sont désintégrés d'une manière pratiquement complète avant notre naissance." ^[7]*

Le 15 Janvier 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie, déposent un pli cacheté contenant une note sur leur découverte à l'Académie des Sciences. Le terme de « radioactivité artificielle » vient de voir le jour. Cependant l'adjectif « artificiel » ne convient pas à Irène et Frédéric. En effet, la radioactivité qu'ils ont obtenue est identique à la radioactivité naturelle et seule la production de nouveaux isotopes radioactifs est artificielle. ^[8]

Un an après la mort de Marie Curie, les Joliot-Curie obtiennent le prix Nobel de Chimie en décembre 1935, la même année que James Chadwick, pour leurs synthèses de nouveaux éléments radioactifs. C'est durant la conférence Nobel, faite à Stockholm le 12 décembre 1935, qu'Irène et Frédéric expliquent les expériences qui les ont conduits à obtenir par transmutation de nouveaux éléments radioactifs. Leurs travaux concernaient l'étude du rayonnement alpha du polonium. Après le conseil de Solvay en octobre 1933, ils concentrèrent leurs efforts pour comprendre comment l'aluminium bombardé par des particules α pouvait émettre des électrons positifs et des neutrons, ainsi qu'ils l'avaient observé lors de leur expérience. Pour cela, ils réalisèrent donc une nouvelle fois le bombardement de l'aluminium par des particules α .

Pour écrire les équations de réactions nucléaires ils admirent qu'il y avait d'une part, conservation du nombre de masse et d'autre part, conservation du nombre de charges nucléaires entre les éléments produits et les éléments présents initialement. Ainsi dans le cas où l'aluminium bombardé par des particules α émet un proton ces lois permettent d'écrire:



Néanmoins, le silicium produit étant présent en quantité infinitésimale il leur était impossible de l'identifier formellement par une méthode chimique. ^[9]

[*]: Toutes les portées sont données dans l'air.

^[8]. Historical resources.pdf, Institut Curie : <http://www.curie.fr/upload/musee/historical-resources.pdf> p.28

Les Joliot-Curie refirent une nouvelle fois leur expérience afin de déterminer la nature de l'élément produit lorsque le bombardement de l'aluminium provoquait l'émission de neutrons. C'est ainsi que le 11 janvier 1934, ils firent une observation des plus intéressantes. En effet, après avoir enlevé le polonium, et donc stoppé l'émission des particules α , ils observèrent que de fines gouttes perlaient sur la feuille d'aluminium. Frédéric examina ces gouttes à l'aide du compteur Geiger-Müller qui se mit à crépiter. Cette expérience avait donc conduit à la formation d'un élément radioactif, dont la nature allait pouvoir être déterminée avec certitude grâce à la radiochimie, et à l'émission de neutrons.^[9]

Expérience montrant que l'atome obtenu a les propriétés du phosphore:

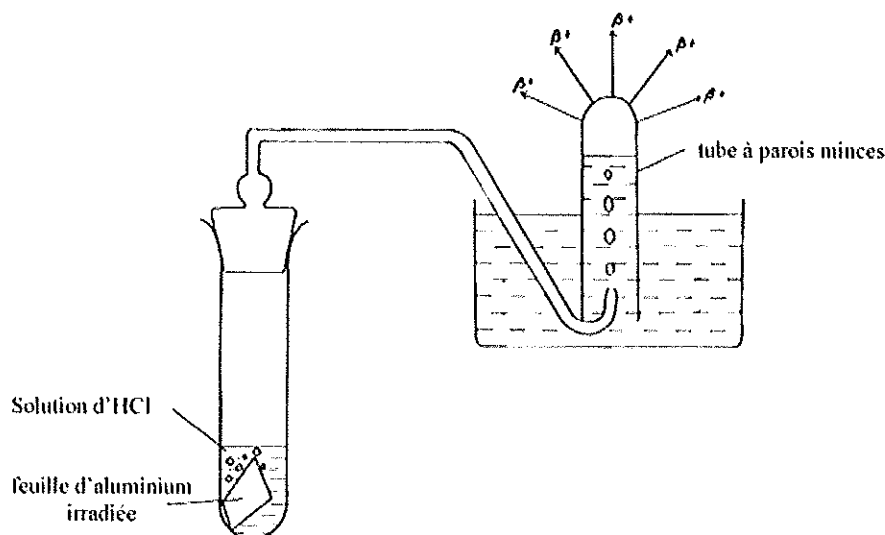
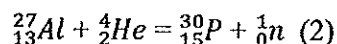


Fig. 2 : Expérience montrant les propriétés de l'atome obtenu.

Frédéric Joliot en explique le principe:

« Une feuille mince d'aluminium, préalablement irradiée par les rayons alpha, est attaquée et dissoute dans une solution d'acide chlorhydrique (fig. 1). La réaction chimique produit de l'hydrogène naissant qui entraîne l'élément radioactif dans un tube à parois minces sous une cloche à eau. Cette séparation montre avec certitude qu'un élément chimique différent de l'aluminium a été formé lors de l'irradiation par les hélions. Elle fournit une preuve indiscutable des transmutations provoquées ; d'autre part, des traces de phosphore se seraient séparées de l'aluminium dans les mêmes conditions. »^[9]

Ils obtinrent donc une autre équation pour la désintégration de l'aluminium:



De plus, après avoir écarté le polonium de la feuille d'aluminium Frédéric et Irène Joliot remarquèrent que si la production de neutrons cessait immédiatement celle des positrons se poursuivaient pendant un certain temps ce qui leur fit affirmer:

"Il s'agit donc ici d'une véritable radioactivité qui se manifeste par l'émission d'électrons positifs"^[9].

Ainsi, les Joliot-Curie ont mis en évidence un nouveau type de radioactivité bêta: la radioactivité bêta plus. Ils multiplient alors les expériences et produisent de l'azote radioactif à partir du bore, du silicium radioactif à partir du magnésium."

Cette découverte permet de lier les équations Eq. (1) et Eq. (2): le phosphore obtenu dans l'équation Eq. (2) est en fait du phosphore-30 un élément radioactif jusqu'alors inconnu dans la nature.

Cet élément instable se désintègre en un atome de silicium stable avec une radioactivité de type β^+ . L'équation des Joliot-Curie devient donc : ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_2^4\text{He} = {}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n}$ puis au bout d'un certain temps ${}_{15}^{30}\text{P} + {}_0^1\text{n} = {}_{14}^{30}\text{Si} + {}_1^1\text{H}$. Il s'agit là de la première réaction en chaîne.

Lors de la présentation de leurs résultats au septième conseil Solvay en octobre 1933 Lise Meitner (1878-1968) remet ceux-ci en cause en affirmant ne pas avoir observé de neutron. Elle enverra une note de rectification en décembre, après avoir fait de nouvelles expériences. Cette découverte est donc très importante, il est désormais possible de synthétiser des éléments radioactifs n'existant pas à l'état naturel. Irène et Frédéric Joliot-Curie reçoivent alors le prix Nobel de chimie pour « leur synthèse de nouveaux éléments radioactifs »

Irène et Frédéric Joliot-Curie ont très vite des idées quant aux multiples applications possibles de leur découverte. Durant la conférence Nobel de Stockholm du 12 décembre 1935, Frédéric se projette dans le futur et annonce les bénéfices sociaux et économiques qu'on pourrait tirer de leurs découvertes :

« Si, tourné vers le passé, nous jetons un regard sur les progrès accomplis par la science à une allure toujours croissante, nous sommes en droit de penser que les chercheurs construisant ou brisant les éléments à volonté sauront réaliser des transmutations à caractère explosif, véritables réactions chimiques à chaînes. Si de telles transmutations arrivent à se propager dans la matière, on peut concevoir l'énorme libération d'énergie utilisable qui aura lieu. Mais hélas, si la contagion a lieu pour tous les éléments de notre planète, nous devons prévoir avec appréhension les conséquences du déclenchement d'un pareil cataclysme. Les astronomes observent parfois qu'une étoile d'éclat médiocre augmente brusquement de grandeur, une étoile invisible à l'œil nu peut devenir très brillante et visible sans instrument, c'est l'apparition d'une Novae. Ce brusque embrasement de l'étoile est peut-être provoqué par ces transmutations à caractère explosif, processus que les chercheurs s'efforceront sans doute de réaliser, en prenant, nous l'espérons, les précautions nécessaires. »^[9]

4. Les applications de la réaction en chaîne et de l'énergie atomique:

En 1936, Irène est à la tête du sous-secrétariat d'État à la Recherche scientifique pendant quelques mois. En 1937, Frédéric est professeur au Collège de France. Il obtient un laboratoire ainsi que des crédits afin de construire un des premiers cyclotrons d'Europe. Après la découverte de la fission par Otto Hahn (1879-1968), Lise Meitner et Fritz Strassmann (1902-1980), Frédéric imagine dès janvier 1939, une expérience afin de montrer la rupture du noyau d'uranium^[10]. Avec Hans Von Halban (1908-1964) et Lew Kowarski (1907-1979), ils découvrent que si pour provoquer la fission de l'uranium, on le bombarde avec un neutron, lors de cette fission, lui-même libère et projette des neutrons qui pourront provoquer la fission d'un autre atome d'uranium et ainsi de suite. Frédéric perçoit déjà les énormes retombées énergétiques que cela pourrait avoir sur l'humanité.

Le 30 octobre 1939, Joliot et son équipe déposent un pli cacheté à l'académie des sciences contenant des brevets: "Dispositif de production d'énergie", "Procédé de stabilisation d'un dispositif producteur d'énergie" et "Perfectionnements aux charges explosives". Malheureusement, à cause de la guerre le pli ne sera décacheté qu'en 1948.^[10]

C'est ainsi qu'à 12h12, le 15 décembre 1948, la première pile atomique voit le jour au fort Châtillon sous le nom de pile ZOE, nom proposé par Kowarski, (Z comme zéro, la puissance de la pile étant très faible, O désignant le terme d'oxyde d'uranium, et E pour désigner l'eau lourde).

Choqué par l'utilisation de la bombe atomique sur le Japon en 1945, Frédéric lance en mars 1950 dans « l'appel de Stockholm » une interdiction de l'utilisation de l'arme atomique. Il réussit à obtenir les signatures de millions de personnes.^[10]

^[10]. Historical resources.pdf, Institut Curie: <http://www.curie.fr/upload/musee/historical-resources.pdf> p.29-32.

Irène meurt le 17 mars 1956, à l'hôpital Curie d'une leucémie, suite à ses recherches. Durant les deux années qui suivirent, Frédéric mit au point le nouveau laboratoire de physique nucléaire à Orsay. Il assista à la mise en route du synchrocyclotron de 156 MeV. Il mourut le 14 août 1958. Il passa toute sa vie à lutter pour que seules les applications pacifiques de l'énergie nucléaire soient utilisées:

"...je suis convaincu qu'en dépit des sentiments provoqués par l'application de l'énergie atomique à des fins destructrices, celle-ci rendra aux hommes, dans la paix, des services inestimables..."

5. Conclusion.

Comme l'avait prédit Frédéric Joliot, la découverte de la radioactivité artificielle permis de grandes avancées dans des domaines aussi divers que la médecine, l'agro alimentaire ou la production d'électricité. Si la bombe atomique provoqua des ravages les applications pacifiques de la radioactivité permettent désormais de sauver des vies et d'améliorer notre quotidien. Le nucléaire pourrait également apporter une alternative viable à l'utilisation du pétrole.

References:

- [1]. Frederic Soddy & Ernest Rutherford, *The cause and nature of radioactivity*, Philosophical Magazine, 4, 370-96, 1902.
- [2]. Ernest Rutherford, "Collision of α -particles with light atoms. IV. An anomalous effect in nitrogen", *Philosophical Magazine*, ser 6, 37, 581-87 1919.
- [3]. Frederic Soddy, Radioactivity. In Annual Reports on the Progress of Chemistry, pp. 262-288. The Chemical Society, 1930.
- [4]. *The New York Times*, Way to transmute elements is found, 8 January 1922.
- [5]. Ernest Rutherford and James Chadwick, "The disintegration of elements by α -particles," *Nature*, 107, 41 (1921).
- [6]. Rutherford and Chadwick, 31.-Further experiments on the artificial disintegration of elements, *philosophical magazine* p.419 1924.
- [7]. Georges Lemaitre, The expanding universe, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 16, 483-501, 1930
- [9]. Irène et Frédéric Joliot-Curie, Conférence Nobel du 12 décembre 1935 faite à Stockholm

Principe et intérêt du LHC

Ambrois David
Descabannes François

Panorama de la Physique, L₂MPM, Promotion 2008-2009.

Abstract

In this project, for beginning we are going to speak about the interests of the creation of the LHC, the principal interest is the discovery of the Higgs Boson, we are going to speak in particular of this one, but we are going to see another interests as important as this one. In a second time, we are going to see how the LHC can accelerate hadrons to a speed approaching that the speed of light, the principal actor being magnets, we are going to see that they need special conditions for the acceleration happens in the best conditions. To finish, we are going to speak about the various experiments that will allow to recolt data of the produced collisions, we are going to explain the various tools that allow to detect the various produced particles.

1. Introduction.

Le LHC (large hadron collider) se situant à la frontière franco-suisse près de Genève, est le plus grand accélérateur de particules jamais construit, il a fallu pour cela résoudre des défis technologiques sans précédent. Ce projet est international, de nombreux pays ont contribué à sa construction, le 11 septembre 2008, le premier faisceau de protons bouclait le premier tour complet du LHC avec succès. Cet accélérateur en étudiant l'infiniment petit va permettre de mieux appréhender des secrets de l'univers encore incompris. Le LHC attire la curiosité du monde entier, mais quels sont les raisons d'un tel engouement du monde scientifique ?

2. Les intérêts du LHC.

Quels sont les intérêts du LHC, quelles sont les importantes découvertes et les preuves sur certaines théories que pourraient découvrir les scientifiques, qu'est ce que le LHC peut apporter de nouveau à notre monde, c'est ce qu'on nous allons étudier dans cette partie.

Le modèle standard^[1] développé entre les années 1970 et 1973 est un ensemble de théorie qui décrit les interactions fondamentales (faibles, fortes et électromagnétiques), ainsi que l'ensemble des particules qui constituent la matière. Cette théorie émet l'hypothèse de l'existence d'une particule appelée Boson de Higgs^[2]. Ce Boson est une particule élémentaire qui aurait donné une masse non nulle à certains bosons de jauge (boson W et Z) de l'interaction électrofaible leur donnant des propriétés différentes de celles du boson de l'électromagnétisme : le photon. Selon le mécanisme de Higgs^[2], l'espace est entièrement rempli d'un champ de Higgs^[2] et les particules acquièrent leur masses par interaction avec ce champ, celles qui interagissent fortement avec ce champ seront des particules lourdes et celles qui interagissent faiblement seront des particules légères. La découverte de cette particule est une des missions prioritaires du LHC. Bien que le modèle standard est une théorie très performante, elle s'avère incapable d'expliquer certains phénomènes tels que la matière noire et l'absence d'antimatière dans l'univers.

Le LHC pourrait mettre en évidence la matière noire^[3] (qui constituerait 96 % de l'univers), cette matière est donc 5 à 6 fois plus importantes que la matière baryonique, et il pourrait expliquer le fait que matière et antimatière^[4] (particules identiques aux particules constituant la matière, mais de charge opposée) qui étaient en quantités égales à l'époque du big bang, ne le sont plus de nos jours. En effet, l'antimatière n'est présente de nos jours que de manière infinitésimale. Lorsque les particules de matières et d'antimatière se rencontrent, elles s'annihilent, créant ainsi une certaine quantité d'énergie, l'antimatière pourrait donc être utilisée comme moyen de stockage d'énergie.

Le LHC pourrait dans un premier temps mettre en évidence l'existence de la supersymétrie^[5] (chaque type de particules possède un alter-ego appelé superpartenaire) et dans un second temps trier les différents modèles possibles de supersymétrie trouvés. SuSy (supersymétrie) associe en fait les bosons (de spins entiers) et les fermions (de spins demi-entiers), elle a donc pour but de placer fermions et bosons sur un même plan. SuSy est utilisée dans de nombreuses théories, notamment la théorie des cordes, théories que le LHC pourrait prouver l'existence réelle.

La théorie des cordes^[6] est l'une des voies pour fournir une description de la gravité quantique qui est l'unification de la mécanique quantique et de la relativité générale. Cette théorie prétend aussi pouvoir unifier les quatre interactions élémentaires connues. Cette théorie possède cependant deux faiblesses, la première est qu'il existe une multitude de solutions des équations de cette théorie, et la seconde est que beaucoup de modèles ont pu être obtenus, mais aucun d'entre eux ne permet de rendre compte précisément du modèle standard. La théorie des cordes regroupe en réalité plusieurs théories, notamment la supersymétrie ainsi que la supergravité, on peut donc dire que tout comme le modèle standard, la théorie des cordes est un ensemble de théories (la théorie des cordes projette entre autre de trouver 6 espaces supplémentaires aux 4 déjà existant). Le LHC pourrait mettre en évidence cette théorie.

En temps normal, les quarks (qui constitue une partie des protons) n'existent pas seuls (ils sont présents dans la nature par groupe de 3 baryons, 2 mésons), mais à très haute température, ils pourraient être isolés en plasma quark-gluons^[7] (les gluons sont les autres constituants des protons), cela voudrait dire que les différentes particules constituées de quarks et de gluons pourraient se dissocier en leurs composants internes, ce qui permettrait l'étude plus approfondie de la théorie des interactions fortes. Avec l'aide de certains détecteurs du LHC, le groupe du CERN pourraient expliquer ce phénomène.

Pour faire ces découvertes et mettre en évidence le Boson de Higgs (ou la supersymétrie par exemple), il faut des conditions de densité d'énergie et de température qui ont existé dans l'univers juste après le big bang, c'est pourquoi il est nécessaire pour découvrir les secrets de l'évolution de l'univers de fabriquer des accélérateurs de particules de plus en plus grand pour atteindre des énergies de plus en plus élevées. L'équipe du CERN a donc fabriqué le LHC qui permet d'atteindre des conditions existantes 10⁻²⁵ secondes après le Big Bang. Le LHC et l'ensemble de ses détecteurs que nous avons pu voir dans la première partie.

3. Le fonctionnement du LHC.

Comment le LHC permet-il de remonter jusqu'à une période proche du début de l'univers? Quelles composantes ont été utilisées pour créer une machine dont beaucoup de scientifiques ont rêvés? Quelles sont les conditions nécessaires au bon fonctionnement de cette machine? C'est ce que nous allons étudier dans cette seconde partie.

Le but du LHC est de récolter des données en faisant rentrer en collision deux particules chargées à une vitesse très proche de celle de la lumière (99,9999991 % de la célérité) voyageant en sens opposés. Il va accélérer deux faisceaux de particules de même types (protons, ions plombs), les protons passeront par une succession d'accélérateurs d'énergie de plus en plus croissantes (accélérateurs PS, SPS) pour finir à son énergie dans le LHC (Fig. 1), cependant ces particules sont des hadrons qui ne sont que des particules lourdes. Les faisceaux de protons représentent 2808 paquets de $1,1 \times 10^{11}$ protons, ce qui permettra d'obtenir 600 millions de collisions par secondes (en sachant que les faisceaux font 11245 tours par secondes), ces faisceaux sont placés dans des conditions extrêmes, c'est-à-dire dans le vide (environ 10^{-13} atmosphère appelée ultravide), ceci dans le but d'éviter les collisions avec les molécules de gaz. Les faisceaux seront accélérés afin d'obtenir une énergie de 7 TeV, lorsque deux faisceaux se croiseront en sens inverse, seule une partie des particules rentreront en collision avec une énergie de 14 TeV au total (pour les ions plombs elle est de 1150 TeV). Pendant que les faisceaux seront accélérés, ils émettront des radiations qui sont dangereuses pour l'humain et pour la

nature, c'est une des raisons pour laquelle le LHC se situe à une profondeur moyenne de 100 mètres. Pour pouvoir accélérer des particules chargées à une vitesse si élevée, le LHC contient une grande variété d'aimants.

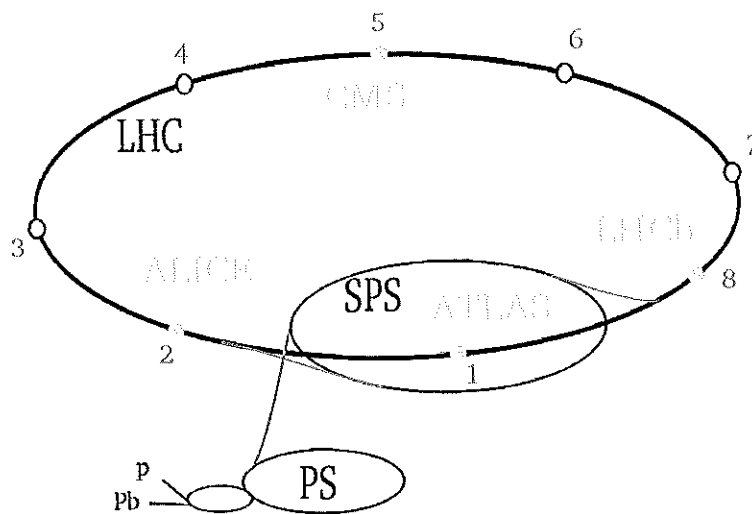


Fig. 1 : complexe d'accélérateur du cern.

Le LHC contient environ 9600 aimants, chaque type d'aimants contribue à l'optimisation de la trajectoire des particules, 2 types d'aimants principaux contribuent au bon fonctionnement du LHC :

1. les dipôles qui maintiennent les protons dans leurs trajectoires, ils permettent aussi de contrer la force de Coriolis, force qui selon l'augmentation de la vitesse fait sortir les protons de leurs trajectoires.
2. Les quadripôles concentrent les faisceaux sur la surface la plus petite possible au point de collision, ce qui multiplie la probabilité que les particules se percutent de plein fouet.

Ces aimants représentaient le défi technologique le plus important dans la conception du LHC, dans un accélérateur comme le LHC, l'énergie maximale pouvant être atteinte est directement proportionnelle à l'intensité du champ des aimants, c'est pourquoi les aimants du LHC sont supraconducteurs (qui conduisent l'électricité sans résistance ni perte d'énergie) et peuvent fournir un champ magnétique très élevé d'environ 8,33 Tesla. Pour obtenir des conditions de supraconduction idéale, il faut que la température soit inférieure à 10 Kelvin (le LHC fonctionne à une température encore plus basse qui est de 1,9 Kelvin, température inférieure à celle de l'espace intersidérale qui est à 2,7 Kelvin). On atteint cette température en injectant de l'hélium superfluide (l'hélium superfluide possède une conductivité thermique très élevée, c'est donc un réfrigérant de choix pour les systèmes supraconducteurs) dans les aimants. Si un faisceau de particules est instable, un jeu d'aimants extraira le faisceau et l'envoiera dans un tunnel spécial. Nous avons vu que l'énergie maximale atteinte dépendait de l'intensité du champ magnétique, mais il dépend aussi du rayon du LHC, c'est pour cela que sa circonférence est de 27 km. Nous avons vu plus haut une des raisons pour laquelle le LHC est placé sous terre, mais il en existe deux autres :

1. Creuser un tunnel coûte moins cher que d'acquérir du terrain pour bâtir en surface.
2. L'impact sur le paysage est ainsi réduit au minimum.

Le LHC coûte dans son ensemble 3 milliards d'euros, 6 pièces importantes qui sont les 6 détecteurs du LHC représentent d'ailleurs une bonne partie de cette argent :

1. ATLAS : Détecteur de particules, il aura pour tâche de détecter le Boson de Higgs.
2. ALICE : elle est dédiée à l'étude du plasma quarks-gluons.

3. CMS : Générique d'ATLAS.
4. LHCb : Il mesure des Asymétrie entre matière et antimatière.
5. LHCf : Il étudie les particules à petits angles créées à l'intérieur du LHC pour simuler des rayons cosmiques en conditions de laboratoires.
6. TOTEM : Il va étudier une partie de la physique inaccessible aux expériences polyvalentes (ex : la taille des protons)

L'énergie consommée du LHC en 2009 devrait être de 800 000 Mega watts par heure, c'est pourquoi l'accélérateur fonctionne 270 jours par ans donc il est arrêté en période d'hiver car il consomme trop d'électricité pour fonctionner en hiver. Les 6 expériences brièvement résumées plus haut permettront sans doute de découvrir certaines particules et de mettre en évidence certaines théories citées plus hauts.

4. Qu'est ce qu'on attend du LHC ?

Le groupe du CERN attend du LHC de collecter des données sur la physique des particules pour résoudre certaines questions que le monde scientifique se pose, pour cela il va falloir effectuer des expériences grâce au LHC. Que va on faire en détails dans les 6 expériences du LHC ? Quels sont les résultats attendus ? C'est ce que nous allons étudier dans cette troisième partie.

ATLAS et CMS sont des expériences polyvalentes, lors de la collision des deux faisceaux d'hadrons, 4 types détecteurs entrent en jeu dans ces expériences :

1. Le Détecteur interne permet de déterminer avec une grande précision spatiale les trajectoires de particules.
2. Le calorimètre permet de déterminer les trajectoires et de mesurer l'énergie des électrons et des photons.
3. Le calorimètre hadronique permet de déterminer les trajectoires et de mesurer l'énergie des hadrons.
4. Le détecteur de muons permet de déterminer les trajectoires et de mesurer l'énergie des muons.

ATLAS et CMS explorent donc un grand domaine de la physique des particules, le groupe du CERN attend entre autre de ces 2 expériences la découverte du Boson de Higgs, trouver des particules supersymétriques, accéder à des dimensions supplémentaires de l'espace et découvrir les particules qui pourraient constituer la matière noire. Dans l'ensemble ATLAS et CMS étudieront la quasi-totalité des découvertes et théories que nous avons vu dans la partie intérêt, ce sont les 2 plus expériences les plus importants du LHC. ATLAS et CMS paraissent peut être mais semblable, mais pourtant ces 2 expériences présentent une différence de poids : « leur technique », en effet les champs magnétiques utilisés sont différents, pour ATLAS, le champ magnétique est toroïdal et autour de l'axe du faisceau, quand au CMS, le champ magnétique est solénoïdal et autour du cylindre.

ALICE quand à elle se limite aux collisions entre ions plombs, lors de cette collision, 5 types de détecteur entrent en jeux :

1. Le détecteur d'interaction est un chronomètre qui signale à l'équipe du CERN chargée d'ALICE exactement le moment de la collision.
2. Les trajectographes permettent de localiser précisément le point de collision ainsi que le point de désintégration de certaines particules.
3. Le détecteur d'identification des particules permet de reconnaître les particules chargées (électrons, kaons, pions et protons)
4. Les calorimètres déterminent l'énergie et la direction des photons.

5. Le détecteur de muons qui permet de déterminer les trajectoires et de mesurer l'énergie des muons.

ALICE étudie donc un domaine un peu plus restreint qu'ATLAS et CMS. Le groupe du CERN attend de cette expérience de recréer l'état de l'univers primordial (environ 10^{-25} secondes avant le Big Bang), en effet lorsque les ions plombs se rencontreront, un dégagement de très haute énergie s'effectuera, permettant ainsi à ALICE de mieux expliquer les phénomènes qui se sont produits peu après le Big Bang.

LHCb une autre expérience du LHC étudie elle aussi un domaine restreint de la physique des particules, cette fois 6 détecteurs entrent en jeu, le détecteur d'interaction, le détecteur d'identification des particules chargées, les trajectographes, le calorimètre électromagnétique, le calorimètre hadronique et le détecteur de muons. Elle regroupe donc les technologies des 3 expériences étudiées précédemment. Le groupe du CERN attend de cette expérience d'explorer les différences entre matière et antimatière en étudiant certaines particules spécifiques. LHCb détectera les particules émises près de l'axe des faisceaux, là où ces particules spécifiques sont regroupées.

TOTEM et LHCf quand à elles étudient les particules à petits angles, en réalité elles vont compléter les expériences ATLAS et CMS. TOTEM va entre autres mesurer la taille des protons et évaluer précisément la luminosité du LHC. Quand au LHCf, elle va tenter de simuler les rayons cosmiques en condition de laboratoire.

5. Conclusion

Nous avons vu dans ce projet que le LHC représentait une véritable avancée scientifique, les intérêts qu'il représente sont pour la physique des particules un grand pas en avant. D'après le groupe du CERN, le LHC devrait fournir des résultats d'ici quelques années, par exemple des recherches menées par le CERN ont montré que si le Boson de Higgs existait, il faudrait environ 3 ans de données du détecteur ATLAS. Le LHC se présente comme des chiffres infiniment grand pour traquer l'infiniment petit, il va permettre de résoudre un grand nombre des mystères de la physique des particules, mais pourtant certains scientifiques remettent en cause les dangers que le LHC peut représenter, notamment la formation des minis trous noirs, on peut donc se demander, « Mais quels sont les risques réels que l'on prend en essayant de maîtriser une telle machine ? »

Références

- [1] : Grégoire Nachszunow, *Evolution of structured matter ; new concepts beyond the standard model*, Nouvelle Edition 2006
- [2] : Michel Davier, *LHC : enquête sur le boson de Higgs*, Editions le Pommier 9 septembre 2008
- [3] : Alain Bouquet, *Matière noire et autres cachotteries de l'univers*, Edition Nouvelle 25 novembre 2003
- [4] : Gabriel Chardin, *L'antimatière : la matière qui remonte le temps*, Editions Le pommier 2 Juin 2006
- [5] : Gordon Kane, *Supersymétrie*, Editions Le pommier 27 septembre 2003
- [6] : Lee smolin, *Rien ne va plus en physique ! : L'échec de la théorie des cordes*, Edition Dunod 18 avril 2007

<http://public.web.cern.ch/public/welcome-fr.html>

<http://www.futura-sciences.com/>

<http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>

<http://cms-project-cmsinfo.web.cern.ch/cms-project-cmsinfo/index.html>

<http://atlas.ch/>

<http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>

Le LHC et les trous noirs

Florent Fenault

Article de Licence de Mécanique, Physique et Science Physique L₂, Promotion 2008-2009

Résumé

Le Large Hadron Collider est un accélérateur à particule qui a parmi ses objectifs de tenter de créer des mini trous noirs. Ceux-ci devraient se refermer d'eux même grâce aux émissions d'Hawking. Les récents travaux d'Adam Helfer [1] font polémiques car ils prédisent que ces radiations n'existent pas. Otto Rossler a lui aussi abouti au même résultat par une réinterprétation mathématique de la théorie de la relativité [2]. Ces nouvelles études sont très controversées mais ne semblent pas avoir été invalidées scientifiquement.

Abstract

The Large Hadron Collider is a particle accelerator that aims to create mini black hole. Mini black holes should disintegrate them self by emitting Hawking rays. Adam Helfer predicted that those rays do not exist [1]. Otto Rossler got the same conclusion threw to a new interpretation of relativity theory [2]. Those new studies are polemical but do not seam to be scientifically invalidated

1. Introduction

En 2008, a été inauguré le plus grand accélérateur à particules jamais créé : le Large Hadron Collider (LHC) sous l'égide de l'organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN). Cet outil expérimental a coûté près de deux milliards d'euros, ce qui en fait le projet expérimental civil le plus cher de l'histoire¹. D'une circonférence de 27 kilomètres, le LHC se situe sur la frontière franco-suisse. Les collisions réalisées en son sein seront huit fois plus énergétiques que celles réalisées dans d'autres accélérateurs à particules. Un des objectifs principaux de cette expérience est de créer des mini trous noirs. Ceux-ci devraient pouvoir disparaître de manière spontanée selon les théories développées par les chercheurs du CERN². Malgré cela, le LHC attire les craintes. Certaines d'entre elles sont purement spéculatives, d'autre semblent fondées et nécessitent d'être étudiées de plus près. Otto Rossler a ainsi développé une théorie mettant en cause la disparition de ces trous noirs [2]. La communauté scientifique semble ne pas la prendre au sérieux malgré les travaux développant cette théorie et les diverses sources citées. Nous tenterons donc de faire le point sur ce sujet en abordant les divers aspects de la polémique.

Dans un premier temps, la personnalité atypique d'Otto Rossler sera présentée. Dans un second temps, nous mettrons en parallèle les théories du CERN et d'Otto Rossler. Enfin, sera abordé la manière dont Rossler a diffusé sa théorie parmi la communauté scientifique et civile.

2. Otto Rossler : un personnage atypique

Né en 1940, Otto Rossler est un personnage autodidacte et éclectique. O. Rossler est issu d'une formation non traditionnelle, il a tout d'abord étudié la médecine et a obtenu un doctorat en immunologie, puis est devenu successivement professeur de biochimie, de mathématique, de chimie et de physique. Ses domaines de recherches sont donc très variés (on y trouve également de la linguistique et de la psychologie). A l'inverse des schémas classiques du chercheur, qui se spécialise sur un unique domaine, O. Rossler possède une vision très globale de la physique. Il est très reconnu

¹ www.lhc-france.fr

² public.web.cern.ch/public/fr/LHC/Safety-fr.html

dans la communauté scientifique pour ces travaux sur la théorie du chaos. Ces théories sur le chaos l'ont amené à étudier la théorie de la relativité et la physique particulaire. Le domaine des trous noirs fait donc partie de ses compétences.

Le personnage d'O. Rossler est très décrié et dénigré pour de nombreuses raisons, la principale étant son parcours atypique. Il apparaît impensable pour certains que O. Rossler puisse être aussi éclectique dans ses domaines de recherche et que ces recherches soient si approfondies.

3. Le LHC : une machine à trous noirs

Le CERN va dans les mois prochains démarrer des expériences afin de créer des trous noirs au sein du LHC. Les scientifiques liés à ce projet espèrent que les trous noirs se refermeront d'eux même grâce à l'émission d'un rayonnement thermique suivant très rapidement leur apparition. Ce rayonnement est appelé rayonnement d'Hawking [3].

En 1974, Stephen Hawking élabora une théorie selon laquelle les trous noirs émettraient des rayonnements thermiques. Ces rayonnements auraient comme conséquence une diminution de la masse du trou noir. Ces radiations seraient inversement proportionnelles à la taille du trou noir. Ainsi, dans le cas d'un micro trou noir créé au sein du LHC, celui-ci émettrait des radiations avant même d'avoir absorbé la moindre particule. La durée de vie de ce trou noir serait de l'ordre d'un pico seconde. Cependant, ces radiations n'ont jamais été détectées. De plus certains scientifiques dont Adam D. Helfer [1] et V.A. Belinski [4] remettent en cause cette théorie.

4. La controverse

4.1. Le trou noir ne se refermera pas

Suite à une boutade faite à O. Rossler sur la possibilité que les trous noir qui seront réalisé au LHC ne se refermeront pas ; celui ci l'a développé afin de voir quelles seraient les implications physiques. Or, il c'est avéré que le déroulement était tout à fait plausible. O. Rossler est tout d'abord parti d'une réinterprétation des équations mathématiques de Schwarzschild [5] issue de la théorie de la relativité restreinte. Cette réinterprétation permet de définir le temps propre au trou noir infini [2]. Les bords du trou noir, vus en point fixe à l'intérieur de celui ci, sont situés à l'infini. Pour comprendre plus facilement on peut faire une analogie entre les bords du trou noir à ceux de l'univers dont les bords ne sont également jamais finis. Cependant à l'extérieur du trou noir les bords sont définis. Ainsi, si le rayonnement d'Hawking doit venir de l'intérieur du trou noir, il mettra un temps infini à en sortir. Le trou noir ne se refermera donc pas.

4.2. Le trou noir se développera

La seconde conséquence de cette réinterprétation est que la charge du trou noir est infiniment petite [5]. Le trou noir ne devrait a priori pas attirer de particules. Cependant sa faible masse pourra permettre à un quark isolé de se mettre en gravitation autour de lui. Ce mouvement associé à la charge du quark créera alors un champ magnétique qui attirera alors une particule de charge opposée. Prenons par exemple le cas d'un quark chargé positivement, le trou noir risque alors d'attirer une particule chargée négativement tel un électron. Une fois l'électron absorbé, le trou noir sera alors chargé négativement. Le trou noir attirera ainsi une particule chargée positivement. Ce processus se répétera alors jusqu'à ce que la masse du trou noir soit suffisamment importante pour que la force d'attraction du trou noir soit supérieure à sa force magnétique. A ce moment là, le trou noir attirera tout les corps passant dans son champs de gravitation.

La seconde partie de la réinterprétation n'est pas nécessaire pour que le trou noir ne se referme pas. Elle permet cependant de comprendre que quelque soit la nature de la charge initiale, il se développera.

Le développement de tel trou noir n'est pas connu actuellement. Il est admis qu'il s'effectuerait de manière linéaire pendant plusieurs millions d'années. Cependant, dans le cas d'une croissance non linéaire, le trou noir pourrait mettre moins de 50 mois pour engloutir la terre.

Les astronomes ont constaté la présence dans le cosmos de gigantesques trous noirs appelés quasar. Ceux-ci se développent de manière structurée mais non linéaire. Ces trous noirs possèdent une masse égale à plusieurs millions de masse solaire. Le même type de structure est présent pour le micro quasar qui possède approximativement une masse solaire. O. Rossler envisage ainsi la possibilité que cette structure puisse également exister et se développer au niveau du micro trou noir [2]. O. Rossler appelle ce phénomène un pico quasar. La proportion entre le quasar et le micro quasar ainsi qu'entre le micro quasar et le pico quasar sont sensiblement les mêmes. Dans le cas où les conditions seraient réunies, il semble vraisemblable que de tels phénomènes puissent se produire. La croissance de type non linéaire peut donc être également envisagée.

5. Des publications autant critiquées sur le fond que sur la forme

5.1. Une rédaction jugée inadaptée

O. Rossler de par sa méthode de rédaction attise le doute sur la valeur scientifique de ses dires. Dans ses différentes publications, on peut trouver de nombreuses remarques familières, des extraits de chansons ainsi que quelques simleys. O. Rossler ne s'attarde pas sur la démarche par laquelle il a trouvé ces résultats. Ses publications sont une forme de documents scientifiques vulgarisés. Les éléments de ces théories sont expliqués de manière simple et accessible à tous. L'aspect scientifique de son travail est implicite, mais beaucoup de sources sont citées. Ce qui permet, en passant outre les méthodes de rédaction, de comprendre la démarche qu'a suivi O. Rossler. Ces méthodes de rédaction peu conventionnelles décrédibilisent son travail aux yeux de la communauté scientifique qui est habituée aux publications très formatées. Elles permettent cependant aux non initiés de se pencher sur ses travaux.

5.2. Les théories discréditées par la communauté scientifique

Les réponses apportées par la communauté scientifique [6] sont les suivantes :

- Les probabilités que les trous noirs apparaissent sont très faible
- Les trous noirs s'évaporeront grâce aux radiations d'Hawking
- Les trous noirs ne sont pas chargés et n'attireront aucune particule
- Les rayons cosmiques bombardent notre planète. Ils créent probablement de nombreux trous noirs et s'ils étaient dangereux nous ne serions plus là.

Concernant les rayons cosmiques, ceux ci en entrant dans l'atmosphère provoquent des collisions bien plus intenses que celles engendrées dans le LHC. Pourtant, on ne détecte aucune trace de trou noir dans l'atmosphère. Les trous noirs sont donc soit inexistants soit ils se referment si rapidement que l'on ne peut les détecter. S'ils se referment, les radiations d'Hawking existent. S'ils n'apparaissent pas il n'y a pas lieu de s'alarmer.

O. Rossler ne croit pas à cette théorie. Ces trous noirs sont animés d'une très grande vitesse et il est très probable que s'ils existent, ils traversent la terre sans avoir le temps d'interférer avec la matière.

En effet, la très grande vitesse qui les anime et leur très faible masse fait qu'ils ne peuvent pas rester sur terre grâce aux phénomènes de gravité. Cette critique n'est donc pas recevable.

On remarque que les critiques évoquées ci-dessus ne prennent pas en compte les arguments évoqués par O. Rossler et Helfer. Ceux-ci sont souvent peu argumentés et reposent uniquement sur les dires des autorités scientifiques actuelles qui annoncent sans preuves à l'appui que le LHC est inoffensif.

5.3. La diffusion de la polémique

Il est surprenant voire alarmant de constater que les différentes publications sur un sujet si sensible ne soient pas prises au sérieux. Mais ces négligences ne s'arrêtent pas là. Les médias scientifiques également boudent ces nouveaux éléments. O. Rossler en novembre 2008, lors d'une conférence donnée à l'université de Rouen a dénoncé le refus des parutions scientifiques de publier ses textes. Les grands laboratoires n'ont donné soit aucune réponse soit une réponse négative aux diverses propositions pour discuter du sujet. Les scientifiques contactés personnellement par O. Rossler refusent pour la plupart de lui donner un avis. O. Rossler dénonce également le fait que les quelques scientifiques extérieurs à la polémique qui ont pris position en sa faveur se sont rétractés ou sont devenus muets.

6. Conclusion

Face à de tels scénarios qui semblent pour le moins tangibles, des précautions s'imposent. Ainsi O. Rossler invite les scientifiques à se réunir pour discuter du sujet au sein d'une conférence sur la sécurité du LHC [7] réunissant tous les acteurs concernés par la polémique. Ce type de conférence permettrait aux différents acteurs de se mettre d'accord sur une réflexion concernant les risques éventuels et au besoin de lancer de nouveaux programmes de recherche.

Un danger majeur est mis en évidence par un groupe de scientifiques, et celui-ci n'est pas entendu par d'autres scientifiques qui ont le pouvoir d'appliquer leurs propres décisions. Il n'y a pour l'heure aucune instance ayant une autorité indépendante suffisamment puissante pour permettre un recours légal face à un danger scientifique majeur. Tout ces faits, pour le moins troublant soulève une question majeure, récurrente dans l'histoire des sciences : l'éthique.

Références

- [1] Adam D. Helfer, *Do black holes radiate?*, Reports on Progress in Physics Vol. 66 No.6, 2008
- [2] Otto E. Rössler, *Abraham-Solution to Schwarzschild Metric Implies That CERN Mini black Holes Pose a Planetary Risk*
- [3] S. W. Hawking, *Particle creation by black holes*, Commun. Math. Phys., 1975
- [4] V.A. Belinski, *On the existence of quantum evaporation of a black hole*, Physics Letters A, Vol 209 Num 1, 1995
- [5] O.E. Rössler, *Abraham-like return to constant c in general relativity : R-theorem derived in Schwarzschild metric*
- [6] Large Hadron Collider Safety Assessment Group(LSAG), *Review of the Safety of LHC Collisions*, CERN, 2008
- [7] Otto E. Rössler, *A rational and moral and Spiritual Dilemma*