

Le neutrino est né en 1930 sous la plume de Wolfgang Pauli. On étudiait à l'époque en détail la radioactivité bêta, qui posait bien des soucis : elle ne semblait pas conserver l'énergie ! Au cours de ce processus, un noyau radioactif voit un de ses neutrons se transformer en proton tout en émettant un électron. Mais l'énergie de ce dernier était toujours plus faible que la valeur exigée par la conservation de l'énergie. Le 4 décembre 1930 lors d'une réunion de physiciens à Tübingen, Pauli écrit à ses collègues une lettre restée célèbre, pleine de doutes et d'humour :

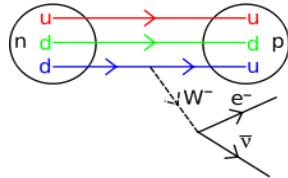
Chers Dames et Messieurs radioactifs,  
Je vous prie d'écouter avec beaucoup de bienveillance le message de cette lettre. Il vous dira que pour pallier (...) le spectre bêta continu, j'ai découvert un remède inespéré pour sauver les lois de conservation de l'énergie. Il s'agit de la possibilité d'existence dans les noyaux d'une nouvelle particule que j'appelle neutrino. La masse des neutrinos devrait être du même ordre de grandeur que celle des électrons et ne doit en aucun cas excéder 0,01 fois la masse du proton. Le spectre bêta serait alors compréhensible si l'on suppose que pendant la désintégration bêta, avec chaque électron est émis un neutrino, de manière que la somme des énergies du neutrino et de l'électron est constante...

Il faut savoir qu'à ce moment-là, le neutron n'était pas encore découvert. Dans sa lettre, Pauli utilise le terme de neutron qui a été rebaptisé neutrino par Fermi. C'est seulement au 7<sup>e</sup> congrès Solvay en octobre 1933 que Pauli formule officiellement sa théorie du neutrino, avec l'appui de Fermi. Le neutrino restera une particule hypothétique jusqu'à sa mise en évidence expérimentale en 1956 par Reines et Cowan auprès du réacteur nucléaire de Savannah River. (Projet Los Alamos)

La désintégration  $\beta^-$  est et à l'origine de la découverte du neutron. C'est comme si un neutron du noyau se désintégrait en proton :  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

neutron  $\rightarrow$  proton + électron + antineutrino

En réalité, cela se passe au niveau de la transformation d'un quark d en u avec le boson  $W^-$  de la manière suivante :

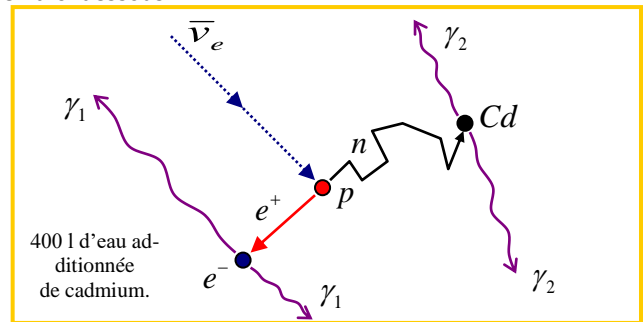


- ✚ Le neutrino, c'est la quantité de réel la plus ténue jamais imaginée par un être humain. *Reines*.
- ✚ La probabilité d'interaction du neutrino avec d'autres particules est très faible, section efficace :  $10^{-44} \text{ cm}^2$
- ✚ À quoi servent les neutrinos : à rafraîchir les étoiles. Un photon créé au cœur du soleil met  $\sim 2$  millions d'années pour sortir de la chromosphère, tandis que le neutrino s'en va à une vitesse proche de la lumière.
- ✚ Masse du neutrino électronique : **< 0,086 eV/c<sup>2</sup>**
- ✚ Masse du neutrino muonique : **< 0.17 MeV/c<sup>2</sup>**
- ✚ Masse du neutrino tauique : **< 18 MeV/c<sup>2</sup>**

$$1 \text{ eV}/c^2 = 1.783 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$$

Nous ne sommes pas sûr que le  $\nu_e$  ait une masse.

En 57 jours d'expérience, Reines et Cowan détectèrent 3 doubles signaux lumineux par heure, signature de l'antineutrino selon le schéma ci-dessous :



1. L'antineutrino provenant du réacteur réagit avec un proton de l'eau (probabilité :  $10^{-45}$ ).
2. Génération d'un positon et d'un neutron.
3. Le positon s'annihile instantanément avec un électron, émission de deux  $\gamma_1$
4. Le neutron est capturé par un atome de cadmium dans un délai de 15 ms (espérance de vie du neutron). Émission de deux  $\gamma_2$ .
5. Les rayons  $\gamma$  sont détectés à l'aide d'un liquide scintillant accompagné de tubes photomultiplicateurs.

En 1936 l'Américain Carl Anderson détecte le **muon** dans les gerbes de particules engendrées par l'arrivée des rayons cosmiques dans la haute atmosphère. Le muon fut rangé dans la famille des leptons, avec l'électron dont il est une variante plus lourde et moins stable.

La désintégration des muons cosmiques suggérait donc l'existence d'une nouvelle variété de neutrinos, associés au muon. En 1962, le **neutrino muonique** était mis en évidence au laboratoire de Brookhaven, à New-York. Il fallut ensuite patienter jusqu'en 2000 pour que soit détecté, au laboratoire Fermi de Chicago, le **neutrino tauique**, dont on avait soupçonné l'existence suite à la découverte d'un troisième lepton, le **tau**, sorte d'électron super lourd. Le neutrino tauique est la douzième et dernière particule élémentaire du modèle standard de l'architecture de la matière, avec naturellement les antiparticules correspondantes.

	I	II	III
quarks	U	C	T
	D	S	B
leptons	e <sup>-</sup>	μ <sup>-</sup>	τ <sup>-</sup>
	ν <sub>e</sub>	ν <sub>μ</sub>	ν <sub>τ</sub>

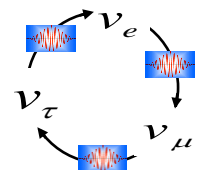
### Les neutrinos et antineutrinos naturels :

- Radioactivité  $\beta^-$   $\beta^+$  (écorce terrestre, corps humain)
- Réactions thermonucléaires des étoiles, dont le Soleil.
- Émission précédent l'explosion d'une supernova.
- Fond de neutrinos cosmologiques à 2 °K (hypothèse).

### Les neutrinos et antineutrinos artificiels :

- Bombes nucléaires.
- Réacteurs nucléaires.
- Accélérateurs de particules (ex. CERN).

Le modèle de fonctionnement du Soleil peut se résumer par la transformation de l'hydrogène en hélium avec production d'énergie (photons) et de neutrinos électroniques. La détection et le comptage de ces neutrinos solaires présentaient un déficit de 30 à 50%. Grâce à un détecteur sensible aux 3 saveurs neutrones (détecteur à eau lourde), les physiciens ont compris que les neutrinos électroniques solaires pouvaient osciller d'une saveur à l'autre pendant le trajet Soleil - Terre.



Citons encore les neutrinos stériles qui sont d'hypothétiques particules liées aux neutrinos du modèle standard mais n'interagissant que par l'intermédiaire de la gravité. Ce sont des fermions doués de masse. Ce sont donc des candidats pour la matière noire.