Le prix Nobel de physique 2026 récompense l'astrophysique des neutrinos

Francis Halzen recevra le **prix Nobel de physique 2026** le 10 décembre prochain à Stockholm pour ses travaux sur la détection des **neutrinos** extrasolaires.

Les **neutrinos**, ce sont ces particules de très faible masse qui peuvent parcourir à la vitesse de la lumière des milliards de milliards de kilomètres sans aucune collision et ni déviation*. **Les détecter est** donc **très difficile** puisqu'ils traversent tout objet ou corps formé d'atomes sans aucune interaction. Ils sont pourtant porteurs d'informations essentielles pour les astronomes, des informations tout à fait complémentaires de celles qu'ils tirent de la lumière (les photons). En effet, de vastes régions de l'Univers sont masquées par d'épais nuages de gaz et de poussière cosmique qui absorbent ou diffusent la lumière, mais qui sont facilement traversés par les neutrinos.

Les **neutrinos de haute énergie**, qui peuvent parfois dépasser plusieurs millions de milliards d'électrons-volts (PeV) ne sont pas produits par de simples réactions de fusion nucléaire comme celles qui font briller le Soleil. Ils naissent au cours des phénomènes les plus violents de l'Univers, dans les noyaux actifs de galaxies, les trous noirs au centre des galaxies ou l'explosion d'étoiles géantes, comme les *supernovae*.

Ils proviennent des *"rayons cosmiques"*, ces flux continus de particules de matière, principalement des protons et des noyaux atomiques qui proviennent de la matière ordinaire présente dans le gaz interstellaire. Suite à différents processus, la chaleur peut augmenter très fortement dans ces nuages primitifs. C'est ce que l'on appelle le *stellar feedback*, qui est provoqué par les l'explosion des *supernovae*, par l'énergie photoélectrique des poussières, par les vents solaires ou par les mécanismes d'ionisation du gaz (*régions HII*).

Lorsque la chaleur devient très élevée ou les radiations très fortes, les atomes des nuages de gaz perdent leurs électrons, devenant des **ions**. Les ions sont des particules chargées électriquement qui réagissent donc aux champs magnétiques locaux, créant de véritables accélérateurs géants de particules. Des protons de très grande énergie s'échappent, brisant les noyaux atomiques mécanisme proton-proton) ou interagissant alors avec la lumière (mécanisme proton-photon). De là, naissent les neutrinos.

L'observation des neutrinos est donc un outil indispensable pour observer l'Univers opaque et lointain. Alors, qu'a inventé Francis Halzen ?

Dans les rares cas où des neutrinos entrent en collision avec un noyau atomique ailleurs que dans le vide, ils peuvent produire un bref éclair de lumière bleue appelé rayonnement **Tcherenkov****. La probabilité d'une collision étant très faible, il faut que le récepteur (volume d'eau ou de glace) soit énorme. C'est un autre physicien russe, Moisey **Markov**, qui proposa dès 1960 le premier l'idée d'observatoires sous-marin de neutrinos. Il porta son dévolu sur les profondeurs du lac Baïkal, dont les grandes profondeurs d'eau douce étaient très favorables. En effet, moins il y a d'impuretés, moins il y a d'artefacts et de fausses détentions de neutrinos.

Halzen proposa lui, en 1988, que l'important volume de glace glaciaire transparente située **sous la surface de l'Antarctique** soit utilisé pour constituer un observatoire à grande échelle. En 2011, 86 forages avaient été réalisés à plusieurs kilomètres de profondeur dans la calotte glaciaire et des chaînes de photodétecteurs y avaient été déployées. Deux ans plus tard, l'observatoire annonçait sa première détection de neutrinos de haute énergie. Aujourd'hui, des centaines de neutrinos de haute énergie y sont mesurés chaque année, au sein de cet observatoire d'un kilomètre cube appelé **IceCube**. Ce n'est pas le seul : **KM3NeT** en mer Méditerranée, **P-ONE** dans le Pacifique Nord-Est, T**RIDENT** en mer de Chine méridionale et **Baikal-GVD** dans le lac Baïkal, sont d'autres observatoires de ce type. Tous utilisent l'eau ou la glace comme révélateur de neutrinos.

Halzen fut un moteur essentiel du projet IceCube. Mais qu'a-t-il réellement inventé ? Évidemment pas l'effet physique majeur de Tcherenkov. Pas non plus l'idée d'utiliser de grands volumes d'eau et de glace. Halzen a d'abord inventé un instrument exceptionnel. Cette année, le prix Nobel récompense donc un instrumentaliste plutôt qu'un théoricien, ce qui est aussi une bonne chose, et met en avant cette nouvelle astrophysique des neutrinos.

Qu'est ce que l'effet Tcherenkov ?



Les neutrinos ralentissent lorsqu'ils pénètrent un milieu dense comme l'eau ou la glace, dont l'indice de réfraction n est supérieur à 1. La vitesse de la lumière y est alors divisée par n. Lors de la rarissime collision d'un neutrino avec un noyau atomique, ce choc engendre une particule chargée massive, le muon. Celui-ci se déplace alors plus vite que la lumière dans ce milieu, provoquant une onde de choc lumineuse analogue au bang d'un avion franchissant le mur du son. Flash bleuâtre caractéristique, cette lumière est enregistrée par des milliers de photomultiplicateurs immergés en grille dans les profondeurs de l'eau ou la glace, permettant de reconstituer avec précision la trajectoire du neutrino original.

* Nous avons vu dans notre billet No 9 que chaque centimètre carré de la surface terrestre (équivalent à un ongle) est traversé chaque seconde par 65 milliards de neutrinos solaires…

** Pavel Tcherenkov, prix Nobel de physique 1958

jacques.boulesteix@wanadoo.fr
Billets téléchargeables sur
http://gofile.me/5U9Ky/3UkOC1k5t