

interactions avec les autres particules sont identiques à celles des neutrinos d'hélicité gauche. Ainsi, bien que les symétries de charge (C) et de parité (P) soient brisées par les neutrinos, leur combinaison CP est respectée par ces particules.

Cependant, en 1917, la mathématicienne allemande Emmy Noether a démontré un théorème qui stipule qu'à toute symétrie est associée une grandeur physique conservée. Par exemple, comme l'espace-temps est semblable dans toutes les directions – il a une symétrie de rotation –, le moment cinétique de rotation est conservé. Le théorème de Noether indique que, si la symétrie CP était valide, une quantité nommée nombre CP serait conservée.

La violation CP

Une particule et son antiparticule se déplaçant dans des directions opposées, avec des énergies égales, forment une paire de particules CP-symétriques : le système composé de deux particules est inchangé par l'opération CP ; cependant, sa représentation mathématique se trouve modifiée par un facteur : le nombre CP. Lorsque les symétries P ou C sont appliquées deux fois de suite

à un même système, ce dernier retrouve son état initial. Cette propriété s'exprime en mathématiques par les égalités $C^2 = P^2 = 1$ (1 représente ici l'opération identité qui, par définition, ne provoque aucun changement). De ce fait, (CP)(CP) est égal à 1, de sorte que le nombre CP ne prend que les valeurs -1 ou $+1$. Selon le théorème de Noether, avec une symétrie CP parfaite, aucun état physique de nombre CP égal à -1 ne se transformerait en un état de nombre CP égal à $+1$.

Considérons alors le kaon K^0 , qui se compose d'un quark *down* et d'un antiquark *strange* ; son antiparticule, l'antikaon $\bar{K}^0$, se compose d'un antiquark *down* et d'un quark *strange*. La symétrie CP, qui transforme un quark en antiquark et un antiquark en quark, devrait transformer chaque kaon en son antiparticule. Les théoriciens en déduisent qu'aucun de ces kaons n'a de nombre CP déterminé. Toutefois, ils savent construire une paire de kaons aux nombres CP bien définis en superposant la fonction d'onde du kaon à celle de l'antikaon. Les règles de la théorie quantique indiquent qu'une telle superposition correspond à une particule réelle, qui possède une masse et une durée de vie bien définies.

La conservation du nombre CP expliquerait une caractéristique curieuse. Bien que similaires, les deux kaons obtenus par superposition ont des durées de vie qui diffèrent d'un facteur environ égal à 500 (voir la figure 3). Le kaon de nombre CP égal à $+1$ se désintègre en deux pions, état physique qui possède le même nombre CP. Cette désintégration survient rapidement, car ce kaon est assez massif. En revanche, le kaon de nombre CP égal à -1 se désintègre en trois pions, un état dont le nombre CP est égal à -1 . Cette dernière désintégration est plus lente, car ce kaon est de masse à peine supérieure à celle des trois pions. Ainsi, la découverte de ce kaon, dont la conservation du nombre CP explique la longue durée de vie, a constitué un solide témoignage indiquant que le kaon issu de la superposition respectait la symétrie CP.

Cependant, en 1964, à Brookhaven, James Christenson, James Cronin, Val Fitch et René Turlay ont montré que, sur 500 kaons à grande durée de vie (avec un nombre CP égal à -1), l'un d'eux en moyenne se désintègre en deux pions (de la même manière que le kaon de nombre CP égal à $+1$). Or, une symétrie CP exacte et parfaite interdit une telle

Les particules du Modèle standard

VECTEURS DE FORCE

BOSONS FAIBLES	PHOTON	GLUON	HIGGS
			

Les constituants fondamentaux de la matière, les quarks et les leptons, se répartissent en trois «générations». La première comprend les quarks et les antiquarks *up* et *down*, l'électron, un neutrino, ainsi que leurs antiparticules. La matière ordinaire est presque exclusivement composée de particules de la première génération. Par exemple, les protons et les neutrons des noyaux atomiques sont composés de quarks *up* et *down*. Les deux autres générations, présentes en abondance au commencement de l'Univers, subsistent aujourd'hui dans des environnements particulièrement chauds, telles les étoiles à neutrons ; on les détecte dans les accélérateurs de particules.

En outre, le Modèle standard prévoit l'existence de plusieurs particules nommées bosons, qui sont échangées lorsque des particules de matière interagissent. Selon le Modèle standard, le boson de Higgs est responsable de l'existence de la masse

CONSTITUANTS DE LA MATIÈRE

	PARTICULE	SYMBOLE	CHARGE	MASSE (GeV/c ²)
PREMIÈRE GÉNÉRATION				
QUARKS	UP		+2/3	0,03
	DOWN		-1/3	0,06
LEPTONS	ÉLECTRON		-1	0,0005
	NEUTRINO ÉLECTRONIQUE		0	0?
DEUXIÈME GÉNÉRATION				
QUARKS	CHARM		+2/3	1,3
	STRANGE		-1/3	0,14
LEPTONS	MUON		-1	0,106
	NEUTRINO MUONIQUE		0	0?
TROISIÈME GÉNÉRATION				
QUARKS	TOP		+2/3	174
	BOTTOM		-1/3	4,3
LEPTONS	TAU		-1	1,7
	NEUTRINO TAUIQUE		0	0?

de toutes les particules et des violations de la symétrie CP ; cependant, ce boson de Higgs n'a encore jamais été observé.