

désintégration. Pourquoi cette symétrie est-elle brisée? Pourquoi l'est-elle si peu?

En 1972, Makoto Kobayashi et Toshihide Maskawa, de l'Université de Nagoya, ont montré que le Modèle standard pouvait admettre la violation de la symétrie CP si le nombre de générations de quarks était supérieur à deux. À l'époque, seules deux générations de quarks étaient connues (les quarks *up* et *down*, et les quarks *strange* et *charm*). Trois ans plus tard, Martin Perl et ses collègues de l'Accélérateur linéaire de Stanford ont détecté la première particule de la troisième génération : le lepton  $\tau$  (tau) ; les quarks *bottom* et *top*, qui complètent la troisième génération de particules, ont été découverts respectivement en 1977 et en 1995.

## L'asymétrisation de l'Univers

L'Univers est-il né asymétrique, c'est-à-dire avec des nombres de particules et d'antiparticules inégaux? Ce déséquilibre initial aurait été rapidement éliminé si, dans l'Univers primordial, le nombre baryonique (le nombre de particules de matière moins le nombre de particules d'antimatière) pouvait être modifié (les extensions du Modèle standard nommées théories de Grande Unification envisagent des phénomènes qui changent le nombre baryonique). Cependant, les physiciens supposent plutôt que les particules et les antiparticules étaient initialement en quantités égales, et que les particules devinrent prépondérantes quand l'Univers se refroidit en se dilatant.

Selon le physicien soviétique Andréï Sakharov, ce scénario est possible à trois conditions : que le nombre baryonique n'ait pas été conservé ; que l'Univers n'ait pas atteint l'équilibre thermique durant sa phase d'expansion ; que la symétrie CP ait été brisée. En l'absence de l'une de ces conditions, toute variation de la quantité de matière aurait été compensée par une variation correspondante d'antimatière.

Selon la théorie aujourd'hui dominante, le champ quantique associé à la particule de Higgs (responsable de la masse) était partout égal à zéro lors du Big Bang. Puis, apparu une bulle où le champ de Higgs prit sa valeur actuelle non nulle. Les particules et les antiparticules qui n'avaient pas de masse à l'extérieur de la bulle en acquéraient une lorsqu'elles passaient à l'intérieur. Les particules et les

antiparticules pénétraient à l'intérieur de la bulle en expansion, mais à des vitesses inégales à cause de la violation de la symétrie CP. À l'extérieur de la bulle, tout déséquilibre entre matière et antimatière se trouvait rapidement corrigé par les événements modifiant le nombre baryonique.

En revanche, ces événements ont été très rares à l'intérieur de la bulle : le déséquilibre a subsisté. Lorsque la bulle a été suffisamment dilatée pour englober l'Univers entier, elle contenait plus de particules que d'antiparticules. Enfin, l'Univers s'est refroidi au point que particules et antiparticules non seulement n'étaient plus formées lors de collisions, mais, en outre, s'annihilaient lorsqu'elles se rencontraient. Malheureusement, les physiciens calculent que l'ampleur du déséquilibre matière-antimatière créé par ce mécanisme est beaucoup trop faible pour rendre compte l'état actuel de l'Univers. Il existe vraisemblablement d'autres modes de violation de la symétrie CP, et le Modèle standard semble être incomplet.

Où chercher d'autres violations de la symétrie CP? Selon le Modèle

standard, les désintégrations du méson  $B^0$  et de l'antiméson  $B^0$  sont très asymétriques. Un méson  $B^0$  contient un quark *down* lié à un antiquark *bottom*, tandis que l'antiméson  $B^0$  est constitué d'un antiquark *down* et d'un quark *bottom*. Le comportement des mésons  $B^0$  ressemble à celui des kaons.

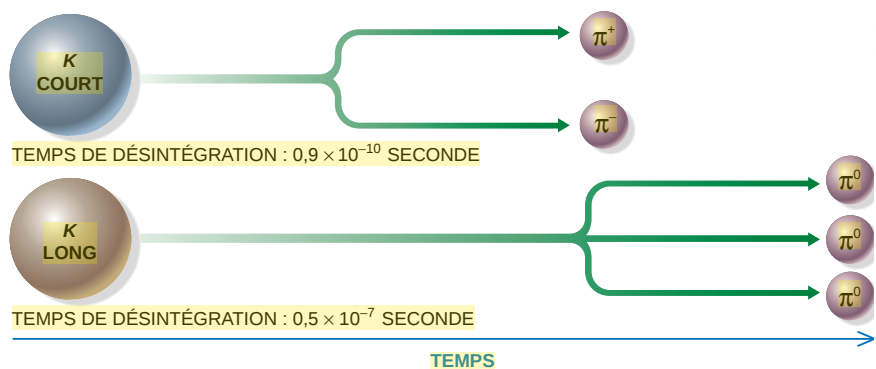
Quand un méson  $B^0$  est produit à un instant précis, un observateur verra, avec une certaine probabilité, cette même particule et avec une probabilité différente, son antiparticule, l'antiméson  $B^0$ .

## Les usines à mésons

L'exploration de la violation CP nécessite l'étude de désintégrations du méson  $B^0$ , dont les produits correspondent à des états possédant un nombre CP bien défini. Les vitesses de désintégration devraient différer selon que la particule est initialement un méson  $B^0$  ou un antiméson  $B^0$ . Cette différence indiquera l'ampleur de la violation CP dans le système. En outre, selon le Modèle standard, l'asymétrie des désintégrations du méson  $B^0$  devrait être bien plus marquée que celle

| PARTICULE |         |            | ANTIPARTICULE |               |            |
|-----------|---------|------------|---------------|---------------|------------|
| NOM       | SYMBOLE | COMPOSANTS | NOM           | SYMBOLE       | COMPOSANTS |
| PROTON    | p       |            | ANTI-PROTON   | $\bar{p}$     |            |
| NEUTRON   | n       |            | ANTI-NEUTRON  | $\bar{n}$     |            |
| PI-PLUS   | $\pi^+$ |            | PI-MOINS      | $\pi^-$       |            |
| PI-ZÉRO   | $\pi^0$ |            | ANTI-PI-ZÉRO  | $\bar{\pi}^0$ |            |
| K-ZÉRO    | $K^0$   |            | ANTI-K-ZÉRO   | $\bar{K}^0$   |            |
| B-ZÉRO    | $B^0$   |            | ANTI-B-ZÉRO   | $\bar{B}^0$   |            |

2. LES PARTICULES COMPOSÉES sont, soit des baryons (tels le proton et le neutron), formés de trois quarks, soit des mésons, composés d'un quark et d'un antiquark. Le méson le plus répandu est un pion ( $\pi^+$ ). Les mésons B et K sont importants pour l'étude de la violation CP, mais plus rares. Ils contiennent un quark (ou un antiquark) *down* et un antiquark (ou un quark) *strange* (méson K) ou *bottom* (méson B).



3. LES KAONS NEUTRES (ou mésons K) possèdent deux durées de vie très différentes l'une de l'autre. Ces différences découlent de ce que ces kaons ont des nombres CP différents. Les kaons qui se désintègrent rapidement se transforment en deux pions ; ceux qui se désintègrent lentement engendrent trois pions. Cependant, le second type de kaons se désintègre parfois en deux pions ; la symétrie CP est alors violée.