

il ne peut y avoir deux quarks identiques et dans le même état dans une même particule. C'est une conséquence de ce que l'on nomme le principe d'exclusion de Pauli. Le proton est une combinaison uud de quarks. Cela ne pose pas de problème, parce que les deux u peuvent être dans des états de spin différents. Mais en 1964, une particule nommée Ω^- fut découverte au Laboratoire américain de Brookhaven. Elle avait été prédite comme le membre ultime d'un décuplet de la voie octuple. Or sa composition en quarks est sss , ce que le principe d'exclusion de Pauli n'autorisait pas.

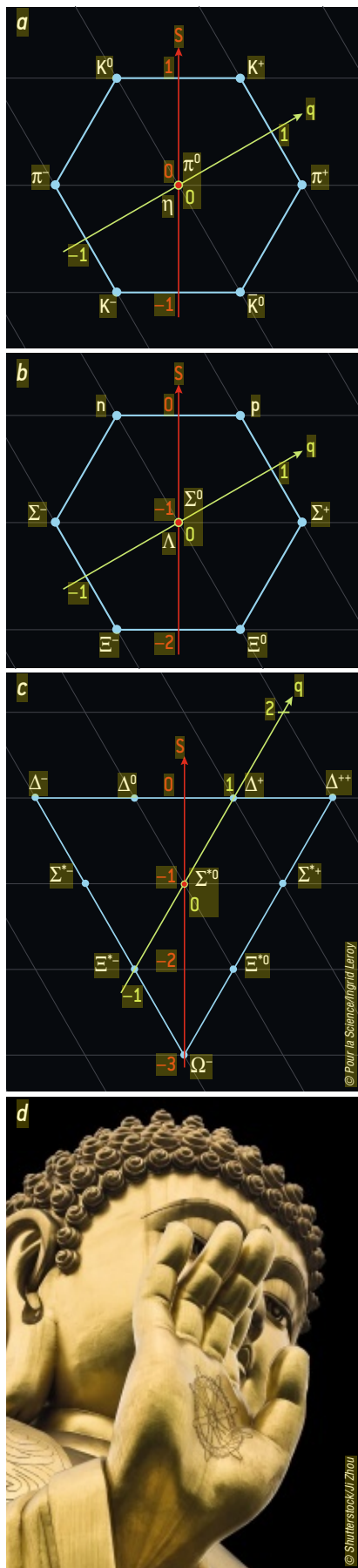
Pour résoudre cette difficulté, les théoriciens supposèrent que les quarks présentent une propriété quantique supplémentaire, la « couleur ». Les quarks peuvent être de trois couleurs différentes. Il ne s'agit pas de couleurs au sens usuel, mais d'un nouveau type de charge. Ainsi, lorsqu'on écrit que le Ω^- est constitué de trois quarks s , on suppose qu'ils ont chacun une couleur différente. Seules les particules élémentaires portant une charge de couleur sont sensibles à l'interaction forte, de même que seules les particules ayant une charge électrique sont sensibles à l'interaction électromagnétique.

Briser des symétries

Il était reconnu dès le départ que la symétrie utilisée dans la voie octuple n'était qu'une symétrie approchée. Si la symétrie était exacte, toutes les particules d'un même multiplet auraient eu la même masse. Les pions sont placés dans un octet qui inclut également les mésons K (ou kaons) dont la masse est trois fois supérieure à celle du pion. De fait, quand on examine les propriétés de ces particules, il est difficile de les rapprocher et de voir quelle symétrie les unit.

La symétrie sous-jacente à la voie octuple est donc brisée. Il existe plusieurs façons de briser une symétrie. La plus

3. LA « VOIE OCTUPLE » de Murray Gell-Mann s'appuie sur la théorie des groupes de symétrie pour organiser les particules de la famille des hadrons. Trois exemples de multiplets sont présentés, des mésons [duos quark-antiquark] (a) et des baryons (trios de quarks) (b et c). L'axe rouge indique la charge d'étrangeté de la particule (un quark s a une charge d'étrangeté égale à -1). L'axe vert indique la charge électrique. Le nom du modèle de Gell-Mann s'inspire de la philosophie bouddhiste, dont le symbole de la voie octuple est gravé dans la paume de la statue (d).



simple est de déranger l'ordre du système symétrique avec une perturbation. Ce type de brisure fut étudié par le mathématicien allemand Hermann Weyl et le physicien hongrois Eugene Wigner, qui l'appliqua à l'étude des spectres atomiques. Les électrons qui entourent le noyau des atomes occupent des « orbites » quantifiées. Si l'atome n'est pas perturbé, les électrons s'installent sur les orbites de plus basse énergie, les « états fondamentaux ». Mais si un choc électrique excite l'atome, les électrons sont propulsés sur des orbites plus énergétiques. Puis ils retournent à l'état fondamental en émettant un rayonnement.

Cette émission se traduit par une raie dans le spectre atomique caractéristique de l'élément et permet de l'identifier lorsqu'on étudie la lumière d'une étoile, par exemple. Ces raies reflètent la symétrie (de rotation notamment) du système atomique qui produit ces niveaux énergétiques. Mais en plongeant les atomes dans un champ magnétique, on brise cette symétrie. Ce qui était une raie spectrale unique devient un ensemble de plusieurs raies (il s'agit de l'effet Zeeman). Le nombre et l'intensité de ces raies peuvent être déterminés d'après la symétrie qui a été brisée.

Ce type de brisure de symétrie de Wigner-Weyl intervient dans la voie octuple. On ajoute une perturbation qui brise la symétrie, si bien que les masses des particules du multiplet se différencient. On obtient ainsi des relations entre les masses, vérifiées empiriquement, ce qui renforce la confiance dans le mécanisme de brisure.

En 1961, le physicien américain d'origine japonaise Yoichiro Nambu et son étudiant Giovanni Jona-Lasinio publièrent deux articles sur un type complètement différent de brisure de symétrie, la brisure spontanée de symétrie. Supposez que vous posiez verticalement une tige rectiligne. Vu du dessus, le système est parfaitement symétrique, aucune direction ne se distingue. L'équilibre est cependant instable et la tige bascule. La probabilité de tomber est la même dans toutes les directions. Une fois la tige au sol, la symétrie est perdue. Autrement dit, les équations peuvent présenter des symétries sans que les solutions ne les respectent. Ce type de brisure de symétrie est dit spontané, pour le distinguer du type Wigner-Weyl où l'on ajoute à l'équation présentant la symétrie un terme perturbateur non symétrique.