

LE MODÈLE STANDARD

Un nom passe-partout pour un sacré succès ! Cette théorie, qui décrit les particules élémentaires et leurs interactions, n'a pas encore été prise en défaut près de quarante ans après sa formulation. Ce qui n'empêche pas les physiciens de chercher sans relâche ses failles...



Les trois lauréats du prix Nobel de physique 1979

Abdus Salam, Sheldon Glashow et Steven Weinberg (de gauche à droite) ont reçu le prix Nobel de physique 1979 pour leurs contributions à la théorie de l'unification électrofaible, une des pierres angulaires du Modèle Standard de la physique des particules. D'autres prix Nobel (en particulier en 1999, 2004, 2008 et 2013) ont également récompensé d'importants développements théoriques associés au Modèle Standard.

La physique des particules s'est développée tout au long du XX^e siècle en explorant toujours plus profondément la matière. Ce processus a culminé dans les années 1960-1970 avec la mise au point d'une théorie, le Modèle Standard qui, encore aujourd'hui, décrit avec une précision inégalée les phénomènes observés dans les accélérateurs les plus puissants. Il a fallu mettre de l'ordre parmi les centaines de particules observées — lesquelles sont élémentaires ? —, comprendre les liens les reliant et pourquoi tels processus ont lieu tandis que d'autres semblent impossibles. Cette construction a nécessité de nouveaux outils mathématiques, seuls capables de décrire avec précision la réalité — sans que l'on sache vraiment expliquer les raisons de ce succès.

Le Modèle Standard comprend douze particules élémentaires appelées fermions, que l'on peut présenter sous forme de table (voir page 66), à la manière de la classification périodique des éléments chimiques. Chaque colonne, ou famille, rassemble quatre particules. La première regroupe les particules stables qui composent la matière usuelle : l'électron, son neutrino associé et les quarks up et down, constituants des protons et des neutrons. Les trois

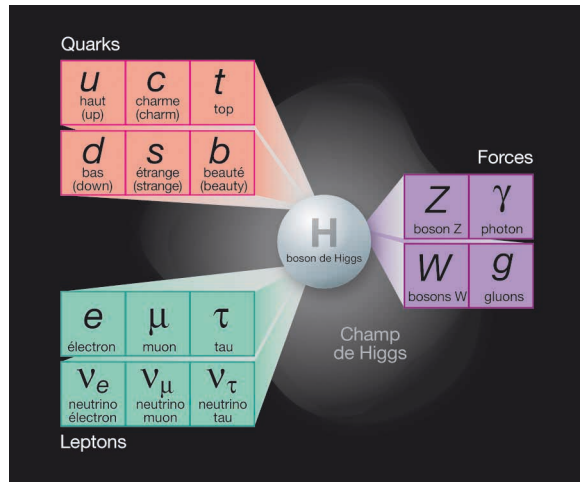
familles ont la même structure. Dans chaque ligne, les particules ont des propriétés communes et sont rangées par masse croissante.

Les charges des particules quantifient leurs sensibilités aux trois interactions fondamentales — électromagnétique, faible et forte — qui gouvernent le monde de l'infiniment petit. Ces forces sont transmises par d'autres particules messagères appelées bosons. Ceux-ci sont également au nombre de douze et ont tous été observés, soit

directement soit indirectement, dans les détecteurs. Le plus connu est le photon, le composant de la lumière, relié à l'interaction électromagnétique.

L'une des plus grandes réussites du Modèle Standard est d'avoir unifié les interactions électromagnétique et faible. Même si à notre échelle ces forces sont très différentes, elles dérivent en fait d'une seule interaction, dite électrofaible, et leur lien, observable expérimentalement, apparaît à des niveaux d'énergie élevés. Dernière pièce du puzzle : le boson de Higgs, témoin d'un mécanisme essentiel du Modèle Standard qui fournit une masse à toutes les particules élémentaires et explique donc pourquoi les bosons électrofaibles W et Z sont massifs, au contraire du photon. Cette particule a été découverte en 2012 au LHC, le grand collisionneur proton-proton du CERN.

Aujourd'hui, le Modèle Standard est presque victime de son succès : s'il n'est pas la « théorie ultime » dont rêvent les physiciens — il ne décrit pas tous les phénomènes rencontrés dans l'Univers, ignore la gravitation et ses équations donnent des résultats absurdes à très haute énergie — il passe brillamment les tests expérimentaux depuis trois décennies. Tous les physiciens des particules s'attendent donc à un moment ou un autre à la faillite du Modèle Standard, sans savoir encore par où il commencera à céder. Les paris sont ouverts !



Le boson de Higgs est au cœur du Modèle Standard

Le boson de Higgs est la dernière pièce du puzzle du Modèle Standard. Il a été découvert au LHC, une confirmation remarquable de la validité du Modèle Standard pour décrire les constituants élémentaires de la matière et leurs interactions.