

> atteint $4,5\sigma$: il semble ainsi que l'on ne puisse plus ignorer le problème.

Les théoriciens ont proposé une foule d'explications potentielles mettant en œuvre une physique nouvelle pour expliquer cet effet. Le leptiquark, déjà invoqué pour la désintégration $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$, est une possibilité. Une autre serait une particule Z' («Z prime»), qui serait un cousin exotique plus lourd du boson Z , mais qui se désintégrerait de façon spécifique en quarks ou en leptons (voir les figures ci-contre). Néanmoins, ces spéculations sont soumises à de fortes contraintes. Elles doivent s'accorder avec toutes les mesures réalisées dans les autres expériences du LHC ou ailleurs. Par exemple, la masse et le comportement de ces nouvelles particules hypothétiques doivent être compatibles avec le fait qu'elles n'aient pas été détectées dans les recherches directes d'Atlas et de CMS.

Pour certains physiciens, le problème trouverait sa source dans nos calculs issus du modèle standard. Par exemple, les répercussions d'effets bien connus mais difficiles à calculer et associés à l'interaction forte pourraient être plus importantes qu'on ne le pensait initialement. La bonne nouvelle est qu'il est possible de tester ces effets par des mesures complémentaires. Ces tests nécessiteront une analyse détaillée et davantage de données, que nous collectons déjà au LHC et ailleurs.

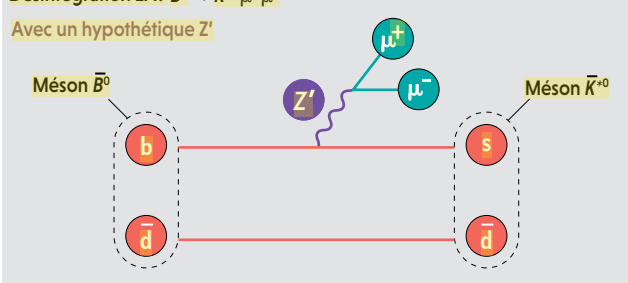
LES INDICES S'ACCUMULENT

La dernière énigme que *LHCb* a fait surgir concerne un double jeu de mesures qui n'est pas sans rapport avec nos deux exemples précédents. Elle pourrait cependant mettre en évidence un effet encore plus intéressant. Ici, nous avons étudié un rapport, noté R_{K^*} , (et prononcé «r k étoile»), qui compare la probabilité du processus $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$ à la probabilité d'une désintégration similaire qui produit un électron et un positron (l'antiélectron) à la place de la paire $\mu^+ \mu^-$ de muons. Nous avons également étudié un deuxième rapport, R_K , qui compare les désintégrations où le méson $\bar{K}^{*0}$ a été remplacé par un autre type de hadron (contenant un quark s) nommé tout simplement méson K . Dans ces deux cas, nous essayons encore de tester l'universalité des leptons, mais cette fois entre les deux premières générations de leptons, à savoir électrons et muons.

La prédiction du modèle standard est triviale : les deux désintégrations de chaque rapport devraient se produire avec la même probabilité, en conséquence de quoi les valeurs attendues de R_K et R_{K^*} devraient être pratiquement égales à 1. Là encore, nous nous attendions à ce que l'universalité des leptons soit vérifiée. Les mesures, bien que loin d'être simples, présentent moins de difficultés

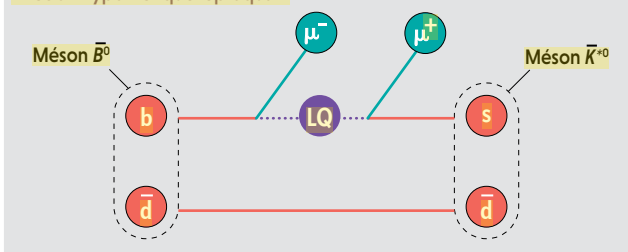
Désintégration 2A : $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$

Avec un hypothétique Z'



Désintégration 2B : $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$

Avec un hypothétique leptiquark



expérimentales que les analyses précédentes sur l'universalité des leptons ; elles constituent donc un test extrêmement clair du modèle standard.

Nous avons commencé par l'analyse de R_K et avons trouvé une valeur basse, 0,75, avec une précision qui la place à $2,6\sigma$ des prédictions du modèle standard. Cet écart était suffisamment étonnant pour que nous attendions avec impatience la valeur de R_{K^*} . Nous l'avons publiée récemment et nous n'avons pas été déçus : R_{K^*} présentait un comportement remarquablement identique à R_K , avec un rapport égal à 0,69 (à environ $2,6\sigma$ au-dessous de la prédiction du modèle standard). Même s'il n'est pas exclu que ces valeurs plus basses qu'attendu soient dues à de simples fluctuations statistiques, le fait que nous les ayons trouvées dans deux mesures différentes attire l'attention.

Si les mesures de R_K et R_{K^*} sont confirmées, elles indiquent que quelque chose dans la nature favorise les désintégrations qui produisent des électrons plutôt que celles qui créent des muons, et là encore les leptiquarks ou un boson Z' sont des coupables possibles. Si c'est le cas, quel que soit le mécanisme responsable, il n'expliquerait pas seulement les bizarreries de R_K et R_{K^*} , mais aussi la mesure de P_s' relative aux muons. Pour faire bonne mesure, certains théoriciens plus ambitieux ont même proposé des scénarios qui résoudraient également l'énigme $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$, mais concevoir une particule ayant les caractéristiques requises pour expliquer les trois mesures est un défi de taille.

Nous en saurons très bientôt davantage. Nous analysons actuellement les données

BIBLIOGRAPHIE

F. Archilli et al., **Flavour-changing neutral currents making and breaking the standard model**, *Nature*, vol. 546, pp. 221-226, 2017.

G. Ciezarek et al., **A challenge to lepton universality in B-meson decays**, *Nature*, vol. 546, pp. 227-233, 2017

G. Kane, **Le modèle standard revisité**, *Pour la Science*, n° 311, septembre 2003.

produites lors de la seconde campagne du LHC. Notre connaissance des valeurs de R_K et R_{K^*} pourrait très vite s'améliorer. Soit l'importance des désaccords augmentera, et ces anomalies passeront sur le devant de la scène de la physique actuelle. Soit ces anomalies se révéleront dues aux fluctuations statistiques, et il nous restera à rechercher la nouvelle physique dans d'autres processus.

ATTENDRE PRUDEMMENT LA SUITE

Les résultats dont nous avons fait état ici ne sont que les exemples les plus saillants d'une multitude de mesures intéressantes ayant émergé récemment dans le domaine des hadrons beaux. Ils suscitent à juste titre beaucoup d'enthousiasme parmi les physiciens des particules, mais les plus vieux et sages d'entre nous ont déjà vu dans le passé de tels engouements surgir puis s'évanouir. Attendons donc prudemment la suite.

Quelles seraient les implications si une ou plusieurs de ces anomalies passaient de la catégorie « indice très intéressant » à « contradiction claire du modèle standard » ? Sans aucun doute, ce serait l'un des développements les plus importants en physique des particules depuis plusieurs décennies. Une fenêtre

s'ouvrirait sur le paysage qui se cache au-delà des limites du modèle standard et de ce que nous comprenons des lois régissant l'Univers. Dans un premier temps, il faudrait alors découvrir ce qui est responsable des désaccords avec le modèle standard. S'il s'agit de l'influence virtuelle de particules de la nouvelle physique (qu'il s'agisse d'un boson de Higgs exotique, d'un leptoquark, d'un Z' ou d'autre chose encore), leurs effets devraient apparaître dans d'autres désintégrations de hadrons beaux et nous livrer des indices supplémentaires. En outre, à moins d'être très lourdes, ces nouvelles particules pourraient également apparaître directement dans des collisions d'*Atlas* ou *CMS*, ou dans un futur accélérateur de plus haute énergie encore.

Sans savoir ce que l'avenir nous réserve, l'extrême sensibilité du LHC et les perspectives de progrès considérables dans les années à venir sont encourageantes. Nous ignorons si le chemin vers la nouvelle physique par des recherches indirectes sera court ou long, mais la plupart d'entre nous sont persuadés d'aller dans la bonne direction. C'est, dit-on, Galilée qui aurait préconisé de « mesurer ce qui est mesurable, et rendre mesurable ce qui ne l'est pas ». Il n'y a pas meilleure devise pour l'expérience *LHCb*. ■

LES { Partagez les savoirs } RENDEZ-VOUS DU MUSÉUM

Entrée gratuite

Au Jardin des Plantes

Détails sur mnhn.fr, rubrique : "les rendez-vous du Muséum"

POUR LA SCIENCE

CONFÉRENCES-DÉBATS

Les roches terrestres et les météorites : jeux de miroir

Lundi 5 mars - 18h : À la recherche des plus anciennes traces du vivant sur Terre et ailleurs
Avec *S. Bernard*, géochimiste et minéralogiste (IMPMC), CNRS et Muséum

UNE EXPO, DES DÉBATS

Animé par *M.-O. Monchicourt*, journaliste scientifique à France Info

Lundi 12 mars - 18h : Exploration spatiale

Avec *J.-P. Bibring*, astrophysicien, coordinateur des Programmes d'Exploration de la planète Mars, Institut d'astrophysique spatiale ; *F. Rocard*, responsable des programmes d'exploitation du système solaire, CNES et *V. Sautter*, géologue, spécialiste des roches martiennes, CNRS

UN CHERCHEUR, UN LIVRE

Lundi 19 mars - 18h : Les météorites et leurs secrets, Ed. Ellipses
De et présenté par *E. Jacquet*, cosmochimiste

Lundi 26 mars - 18h : Impacts, des météores aux cratères, Ed. Belin
Collectif sous la direction de *S. Bouley*, présenté par *S. Bouley*, planétologue, Geosciences Paris Sud et *B. Zanda*, météoritologue, Muséum, co-directrice de l'ouvrage

MÉTIER DU MUSÉUM

Dimanche 25 mars - 15h : Minéralogiste naturaliste
avec *P.-J. Chiappero*

Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
36 rue Geoffroy St-Hilaire, Paris 5^e

