

Le quark timide

Présentant un rapport aux médias le 26 avril au laboratoire Fermi, Melvyn Shochet de l'Université de Chicago, porte-parole principal de l'expérience CDF au collisionneur proton-antiproton Tévatron du laboratoire Fermi, présente les preuves de l'existence du sixième quark t.

Le 22 avril, après bien des mois d'une analyse soignée, la collaboration CDF au collisionneur proton-antiproton Tévatron du laboratoire Fermi a fièrement soumis un article de 150 pages à la *Physical Review* pour rendre compte des preuves de l'existence du quark t. Le même jour, au cours d'un séminaire au laboratoire Fermi, le porte-parole principal de CDF Melvyn Shochet de l'Université de Chicago et William Carithers du laboratoire Lawrence à Berkeley ont décrit l'analyse de 1000 milliards de collisions proton-antiproton qui ont permis de pêcher une douzaine d'événements candidats quark t.

Le quark t, le compagnon du quark b découvert au laboratoire Fermi en 1977, doit exister si le modèle standard des interactions entre les particules est correct (voir page 4). Au Tévatron les quarks t sont produits par paires. Chacun d'eux se désintègre rapidement en un quark b et un boson W, le porteur de la force nucléaire faible.

Le groupe CDF a utilisé les données recueillies entre août 1992 et juin 1993 par trois recherches du quark t différentes dans leur façon d'observer les bosons W et les quarks b. Dans chacune de ces recherches, les candidats quark t émergent d'un bruit de fond de processus sans quark t mais ressemblant à des désintégrations du quark t. La combinaison des trois recherches rend l'excès d'événements statistiquement plus significatif. Bien que le surnombre total puisse être une fluctuation statistique rare, il est naturel de l'interpréter comme une preuve de la production du quark t.

Dans ce cas les données correspondent à une masse du quark t de 174 GeV avec une incertitude de 17 GeV — le quark t est presque aussi massif qu'un noyau d'or tout entier! Il reste à expliquer pourquoi le quark t est bien plus lourd que toutes les autres particules élémentaires déjà observées.

Une autre période d'expérimentation du collisionneur Tévatron a récemment débuté. Si l'exploitation peut se poursuivre pendant les 15 à 24 mois qui viennent, l'échantillon de données pourrait être multiplié par cinq ou plus, ce qui permettrait de confirmer l'effet observé et de réduire de plus de moitié



l'incertitude sur la masse. La mesure des propriétés du quark t constitue maintenant l'une des grandes priorités de la physique et pendant la prochaine décennie cette tâche ne pourra être menée qu'au Tévatron du laboratoire Fermi, l'accélérateur de plus haute énergie du monde.

La recherche du quark t

Au laboratoire Fermi les quarks t peuvent être créés par l'énergie émise dans les collisions proton-antiproton. Dans ce cas, le quark t et sa contrepartie dans l'antimatière, l'antiquark t, sont émis ensemble. Le quark t se désintègre presque immédiatement en un quark b — son compagnon dans un doublet — et un boson W, le porteur de la force nucléaire faible. Le W, à son tour, se désintègre lui aussi rapidement dans l'une ou l'autre des paires de quarks et de leptons, par exemple en un électron plus un neutrino de l'électron. Chaque quark de l'état final est observé dans le détecteur sous la forme d'un jet de particules serré.

Les expérimentateurs de CDF ont mené leur quête du quark t de trois

manières. Ils ont d'abord recherché des événements dans lesquels les bosons W issus du quark t aussi bien que de l'antiquark t se désintégraient en paires de leptons, soit électron plus neutrino de l'électron, soit muon plus neutrino du muon. Ils ont observé deux de ces événements contre un bruit de fond attendu d'approximativement un demi-événement.

Les deux autres méthodes ont consisté à rechercher des événements dans lesquels l'un des deux bosons W se désintègre en un électron plus un neutrino de l'électron ou en un muon plus un neutrino du muon, tandis que l'autre W se désintègre en une paire de quarks. La fréquence attendue pour ces événements à quark t est considérablement supérieure à celle de la première méthode, mais il y a également plus de bruit de fond. Pour réduire ce dernier la seconde comme la troisième méthode de recherche identifient l'un au moins des quarks b produits.

La seconde recherche tentait de découvrir le quark b d'après la faible longueur de son parcours libre avant sa désintégration. Six de ces événements ont été observés contre un bruit de fond attendu d'environ deux.

Visualisation d'un événement contenant un candidat quark t obtenu par le détecteur CDF au Tévatron du Laboratoire Fermi. La vie du quark t est trop éphémère pour qu'on puisse l'observer directement. Toutefois un quark t d'une paire quark-antiquark se désintègre en un quark b dont on peut observer la désintégration dans le détecteur de vertex au silicium (en bas, à droite) proche du tube du

faisceau, tandis qu'on identifie également le muon provenant de cette désintégration (en bas, à gauche). Le légogramme du calorimètre permet d'apprécier la façon dont le détecteur résout les différents jets issus des processus relatifs aux quarks. Après avoir tiré au clair la cinématique, on obtient une masse de 169 ± 10 GeV pour le quark t .

La troisième méthode consistait à rechercher un électron ou un muon provenant de la désintégration d'un quark b . Sept de ces événements ont été observés contre un bruit de fond attendu de trois. (Trois des événements observés par la troisième méthode avaient également été repérés par la seconde.)

La probabilité que le bruit de fond puisse fluctuer au moins jusqu'au nombre d'événements observés est de un sur quatre cents. Bien que cela semble faible, les scientifiques exigent en général un degré de confiance plus élevé et il faudra davantage de données pour confirmer l'existence du quark t . Le Tévatron est de nouveau en fonctionnement et si l'exploitation peut se poursuivre pendant encore 15-24 mois, un échantillon cinq fois plus important pourra être recueilli.

Afin d'exploiter les différences cinématiques attendues entre les événements à quark t et le bruit de fond, une autre analyse a examiné des événements présentant les caractéristiques attendues dans la production du quark t . Dans le surnombre observé de ces événements par rapport au bruit de fond se trouvaient beaucoup des événements comprenant un quark b identifié.

Les données recueillies dans sept des événements sont suffisantes pour permettre d'évaluer la masse du quark t . Six d'entre eux sont concentrés entre 160 et 190 GeV et ensemble ils donnent pour le quark t une masse de 174 ± 17 GeV, voisine du centre de la fourchette des masses prédites pour le quark t d'après le modèle standard sur la base des données de précision recueillies dans les désintégrations du boson Z au CERN et au SLAC, dans les désintégrations du boson W au collisionneur du laboratoire Fermi et dans les interactions des neutrinos au laboratoire Fermi et au CERN.

Les données de CDF étaient disponibles il y a plus de neuf mois et les événements à candidat de quark t avaient été rapidement identifiés, dès le mois d'août l'échantillon des candidats s'était stabilisé.

Dès lors une grande partie des travaux de CDF sur la recherche du quark t avait été concentrée sur les processus du bruit de fond suscepti-

bles de simuler un événement à quark t .

C'est la complexité de ces événements qui rend si difficile le traitement du bruit de fond. Autrefois les découverts de particules élémentaires pouvaient se faire sur la base de quelques trajectoires de particules. Plus la particule d'origine est massive et plus elle peut produire de secondaires, de sorte que le quark t , le plus lourd d'entre tous, est le plus prolifique.

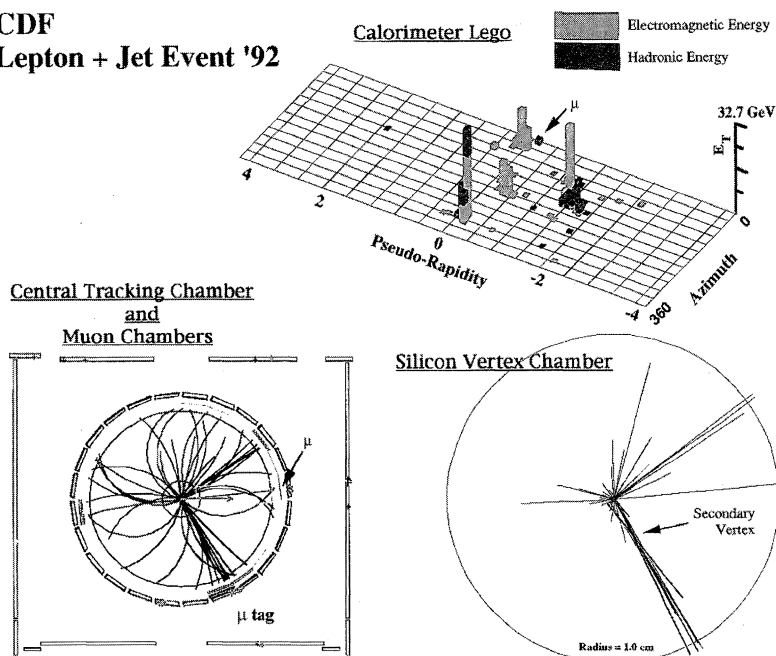
En outre, une collision proton-antiproton produit d'autres particules en dehors du quark t et de son antiquark. Chaque quark t se désintègre alors rapidement en un quark b et un boson W . Cependant ces particules sont également instables et se désintègrent donc en électrons, muons, neutrinos, pions, kaons, etc.

Typiquement, pour un événement à quark t une centaine de particules pénètrent dans le détecteur CDF.

Ce bruit de fond a été le sujet d'une analyse pénible et de discussions continues. On en retiendra des leçons qui seront utiles dans la recherche d'autres particules rares.

Dans l'expérience CDF on compte

CDF Lepton + Jet Event '92

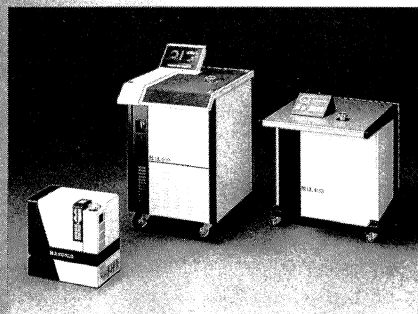


approximativement 100 000 détecteurs de particules individuels autour du point de collision proton-antiproton. L'appareillage a été construit pour l'essentiel entre 1981 et 1987 avec le financement du Ministère de l'énergie des Etats-Unis, de l'Institut de physique nucléaire italien (INFN), du Ministère de la science du Japon et de la National Science Foundation des Etats-Unis. Des améliorations ont été apportées en 1988, 1992 et l'été dernier. La collaboration compte actuellement plus de 440 physiciens, dont 142 doctorants des Etats-Unis, d'Italie, du Japon, du Canada et de Taïwan.

(Le groupe D0, compagnon de CDF au Tévatron, a également observé quelques événements intéressants, mais ils n'émergent pas de façon significative au-dessus du bruit de fond.)

3 x THE LEAK DETECTION EXPERTISE

CD-Bonn



The ULTRATEST range from LEYBOLD makes leak detection expertise...

...portable! With the ULTRATEST UL 100 PLUS. Small. Light-weight. Intelligent. For rapid helium leak detection on your system. Its detection limit: 2×10^{-10} mbar $\times$ l $\times$ s $^{-1}$.

...measurable! With the ULTRATEST UL 400. Versatile. Adaptable. Precise. For stationary helium leak testing even in the 10^{-12} mbar $\times$ l $\times$ s $^{-1}$ range. Its strength is the versatile options concept.

...unbeatable! With the helium leak detector ULTRATEST UL 500. Simple. Quick. Flexible. Any leak detection problem is solved in no time by simply pressing a key. Its perfection is unbeatable.

Do not hesitate to contact us, just ring:

Germany (+49-2 21) 3 47-10 26

Switzerland (0 21) 6 91 84 14

LEYBOLD AG

Bonner Strasse 498, D-50968 Cologne, Germany

Leutschenbachstrasse 55, CH-8050 Zürich, Switzerland



Innovative Vacuum Technology

100.401.000.03.02