

Le charme

Un des événements à l'origine du grand bouleversement actuel. Un neutrino venant de la droite interagit avec un neutron dans la chambre à bulles Gargamelle du CERN, sans production de muon chargé. Cet événement a révélé l'existence de « courants neutres » intervenant dans les interactions faibles. Le fait que les courants neutres ne semblent pas se manifester dans d'autres interactions, comme cela était prévu, incite à penser qu'il doit intervenir une autre propriété des particules: le charme.

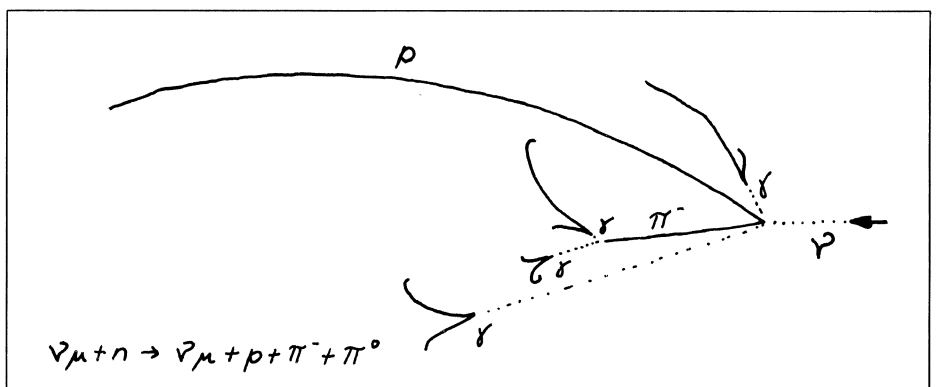
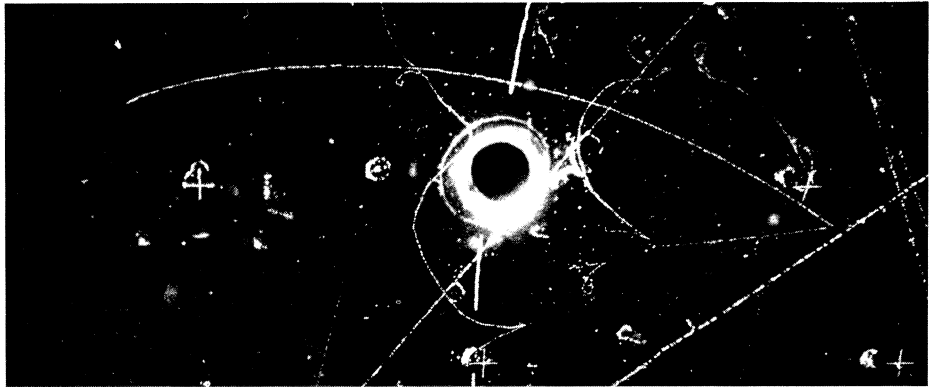
Le rythme de publication des articles de physique théorique tentant d'interpréter le monde des particules a présenté récemment une pointe très marquée. En effet, les théoriciens ont été stimulés par les découvertes effectuées au cours des deux dernières années, autour des accélérateurs à haute énergie. Elles sont en effet à l'origine d'interprétations complètement nouvelles concernant les composants fondamentaux de la nature et leur comportement. A leur tour, ces interprétations ont tracé une multitude de voies pour la recherche expérimentale qui fournira des informations permettant de sélectionner celles de ces interprétations qui se révéleront correctes.

Cet article évoque certaines des principales hypothèses récemment formulées et rend compte de quelques expériences conçues en vue de leur vérification. Il est difficile de présenter un panorama complet alors que tant de travaux sont en cours, mais nous essaierons d'analyser certains des grands motifs d'excitation qui se manifestent actuellement dans la communauté des physiciens des hautes énergies.

Les courants neutres et le charme

En 1973, des perspectives complètement nouvelles se sont ouvertes pour la physique des particules. Allant au-delà d'une simple ornementation supplémentaire de notre représentation du comportement de la nature, elles lui ont ajouté une contribution significative.

Du point de vue expérimental, tout a commencé par la découverte au CERN de l'existence des courants neutres dans les interactions faibles. Nous avons déjà plusieurs fois traité cette question (voir par exemple, le numéro de mai 1974, page 165). Pour l'essentiel, cela signifie que lorsque des particules interagissent par l'intermédiaire de la force faible, les leptons participant à la réaction, qui sont des particules ne subissant pas l'interaction forte, ne doivent pas nécessairement changer le signe de leur charge



électrique. Ainsi, un neutrino interagissant avec un proton peut rester à l'état de neutrino neutre et ne pas être transformé en un lepton chargé négativement, comme cela se produit plus fréquemment. L'interprétation proposée pour une telle interaction à courant neutre est la suivante: une particule neutre (appelée boson intermédiaire neutre, ou Z^0) est échangée entre le neutrino et le proton, en étant le vecteur de la force faible, ainsi transmise d'une particule à l'autre. Dans le cas plus fréquent des courants chargés, le vecteur est une particule chargée (boson intermédiaire chargé ou $W^\pm$).

Du point de vue théorique, cette découverte s'est révélée en plein accord avec des théories de l'interaction faible qui étaient alors en gestation. Elles tentaient d'étendre au cas de la force faible les conceptions fondamentales qui ont remporté un si brillant succès dans l'explication de la force électromagnétique. (Les lecteurs désireux d'étudier cette question

plus en détail peuvent reprendre le numéro de mai 1974). Ces théories regroupaient les interactions faible et électromagnétique en les considérant comme des manifestations différentes du même phénomène. Du point de vue philosophique, il s'agit là d'une tentative satisfaisante, car le fait de scinder le comportement de la nature en faisant intervenir quatre forces séparées (en comptant l'interaction forte et la gravité) n'a jamais conduit à une situation très enviable. De plus, les théories exigeaient l'existence de courants neutres (et/ou de leptons lourds) ce qui augmenta encore la joie éprouvée à la suite de la découverte expérimentale des courants neutres.

Mais cette découverte a également fait s'ouvrir la boîte de Pandore dans une autre direction, qui est à l'origine de l'actuelle exaltation. En effet, si la force faible peut se manifester par l'intermédiaire de courants neutres, on doit pouvoir observer d'autres interactions à courant neutre en plus de

Notre représentation actuelle des constituants de base(?) de tous les hadrons (toutes les particules sensibles à l'interaction forte). Les baryons sont construits à partir de constituants tels que le nombre baryonique total soit égal à 1 — par exemple, le proton est constitué de trois quarks $Q_p Q_p Q_n$, ce qui définit sa charge unitaire et son absence d'étrangeté et de charme. Les mésons sont construits de telle sorte que le nombre baryonique total soit égal à 0 — par exemple, le kaon négatif est constitué des quarks $Q_\lambda \bar{Q}_p$ ($\bar{Q}_p$ étant l'antiparticule de Q_p et toutes ses propriétés sont de signe opposé), ce qui définit sa charge unitaire négative, son étrangeté et son absence de charme.

celles que subit le neutrino. La désintégration du kaon neutre en deux muons en constitue un exemple particulier. Ce phénomène a fait l'objet de recherches approfondies, mais il n'a jamais été observé avec un taux correspondant à la désintégration directe. On a seulement observé un taux beaucoup plus faible correspondant à une désintégration du kaon en deux gamma, avec production de muons à partir des gamma. Quel mécanisme s'oppose donc à cette désintégration directe?

Lorsque les connaissances dont nous disposons nous indiquent que quelque chose peut se produire, alors que rien ne se produit en réalité, nous inventons un mécanisme inhibiteur. Une telle démarche a fourni d'excellents résultats dans le passé. Par exemple, afin d'expliquer pourquoi le kaon est une particule aussi stable et pourquoi il est produit dans certaines interactions et non pas dans d'autres (pour lesquelles la probabilité de production semblait a priori identique), nous disons que le kaon possède une propriété supplémentaire appelée étrangeté. Par lui-même, ce nom indique que cette propriété, lorsqu'elle a été proposée, était considérée comme se situant bien en dehors de l'ordinaire. Du fait de l'étrangeté, la participation de la particule dans certaines interactions se trouve complètement exclue (dans les interactions fortes avec production du kaon) ou fortement inhibée (dans les interactions faibles, avec désintégration du kaon).

Pour la suite de l'exposé, cette idée est réellement fondamentale; aussi en présenterons-nous une autre vulgarisation sur un mode très familier. Supposons que dans le monde qui nous entoure les animaux interagissent comme le font les particules, c'est-à-dire qu'ils se transforment et se brisent avec passage d'une configuration à une autre, au sein d'une organisation sans cesse changeante. En observant de loin une telle évolution, des êtres intelligents pourraient effectuer des observations analogues à celles que nous réalisons avec les

particules. Ils pourraient remarquer qu'il existe des interactions par exemple entre un chien et un chameau, avec production d'un chat et d'un cheval, ou d'une souris et d'une vache, etc., mais ne conduisant jamais à deux chats et un cheval ou une hydre. Ces êtres intelligents pourraient en déduire que les têtes se conservent toujours dans ces interactions: s'il existe initialement deux têtes, seuls pourront être produits des animaux dont la somme des têtes sera égale à deux.

Ils pourraient alors se demander pourquoi il n'est pas possible de produire un chat et un homme ou un mille-pattes et un cheval, étant donné que ces deux interactions conservent la propriété de « céphalité ». Ils pourraient alors postuler l'existence d'une autre propriété, la « pédicéité » qui doit également être conservée.

Ainsi l'interaction:

chien + chameau $\rightarrow$ chat + cheval
est possible car le nombre de pattes est conservé, alors que l'interaction:
chien + chameau $\rightarrow$ chat + homme
ne l'est pas, car bien que le nombre de têtes soit conservé, celui des pattes a été modifié.

Revenons aux kaons... Un pion interagissant avec un proton ne peut pas produire un kaon étant donné qu'aucune de ces deux particules ne possède d'étrangeté. Une telle production n'est possible qu'à la condition que soit simultanément produite une autre particule, telle que le sigma, ayant une étrangeté égale et de signe opposé à celle du kaon (on parle alors de « production associée »). Adoptant une formulation mathématique, nous dirons que le kaon positif a un nombre quantique d'étrangeté égal à +1, alors que ce même nombre quantique vaut -1 pour le sigma.

Lorsque le kaon se désintègre sous l'influence de l'interaction faible, la propriété d'étrangeté peut être perdue (elle n'est pas conservée), mais pour s'affranchir de l'étrangeté il faut mener une véritable lutte et, de ce fait, la désintégration du kaon se produit au bout d'un temps qui est un million de fois plus long que la durée de désintégration des particules équivalentes.

Pour ce qui est de la désintégration en deux muons qui doit se produire, puisque nous savons maintenant que des courants neutres existent, il intervient peut-être une autre propriété inhibant cette désintégration. La propriété dont l'existence est ainsi postulée a été appelée « charme ». En introduisant la propriété de charme S.L. Glashow, J. Iliopoulos et L. Maiani ont pu établir que des interactions faibles à courant neutre, dans lesquelles l'étrangeté se modifie (comme dans la désintégration du kaon en deux muons), ne pouvaient pas se produire. Cela constitue la manière la plus simple de s'affranchir des difficultés, mais ce n'est pas la seule à laquelle on ait pensé.

Prolifération des quarks

Supposons que le charme existe réellement. Qu'en résulte-t-il pour notre représentation des particules? Nous disposons d'une représentation convaincante des hadrons (des particules telles que le proton, le kaon, etc., qui subissent l'interaction forte) qui les considèrent comme formées de trois composants appelés quarks. La « spectroscopie » de ces particules (c'est-à-dire la manière dont les relations concernant leurs propriétés s'insèrent dans des configurations ordonnées) et les observations relatives à la diffusion d'autres particules sur les hadrons indiquaient clairement que ceux-ci sont formés de constituants (voir numéro d'octobre 1974, p. 331).

Dans les gammes d'énergies dans lesquelles on a jusqu'à maintenant étudié les hadrons, aucun de ces constituants n'a été observé à l'état isolé. Toutefois, cela ne perturbe pas les théoriciens, car ils ont élaboré un modèle de hadrons assurant le « confinement » des quarks et les maintenant fortement liés.

Les trois types de quarks seront appelés Q_p (du type proton, avec charge électrique de +2/3), Q_n (du type neutron charge de -1/3) et Q_λ (du type particule étrange ou lambda, charge de -1/3 et étrangeté). En les associant ensemble et de différentes

Les quarks constituants des hadrons	Quelques propriétés principales				Chacun existe sous trois formes "colorées"
	Charge	Nombre baryonique	Étrangeté	Charme	
Q_p - du type proton	$2/3$	$1/3$	0	0	$Q_p(\text{rouge}), Q_p(\text{blanc}), Q_p(\text{bleu})$
Q_n - du type neutron	$-1/3$	$1/3$	0	0	$Q_n(\text{rouge}), Q_n(\text{blanc}), Q_n(\text{bleu})$
Q_λ - du type lambda ou quark étrange	$-1/3$	$1/3$	1	0	$Q_\lambda(\text{rouge}), Q_\lambda(\text{blanc}), Q_\lambda(\text{bleu})$
Q_c - quark charmé	$2/3$	$1/3$	0	1	$Q_c(\text{rouge}), Q_c(\text{blanc}), Q_c(\text{bleu})$

manières, on peut recréer tous les hadrons connus. Ainsi un proton peut être formé de deux quarks Q_p et d'un quark Q_n ; un neutron comprendra deux quarks Q_n et un quark Q_p ; un Q_p , un Q_n et un Q_λ formeront un lambda; un quark Q_p et un antiquark Q_λ formeront un kaon positif, etc.

Ce modèle se révèle excellent, et tous les calculs effectués en utilisant ces quarks donnent des résultats en remarquable accord avec de nombreuses mesures expérimentales du comportement des particules.

Les complications apparaissent lorsque l'on considère les états quantiques ou les états énergétiques dans lesquels peuvent exister les quarks.

elon un principe parfaitement admis et vérifié (principe d'exclusion qui a été proposé par Wolfgang Pauli), deux particules identiques ne peuvent pas exister dans un même état. (Ce principe a été élaboré pour expliquer la structure de l'atome: si nous disons que deux électrons du nuage sont exactement dans le même état, cela revient à décrire deux fois un électron isolé. Ainsi les deux quarks Q_p d'un proton doivent différer l'un de l'autre. En recherchant une dénomination pour cette propriété distinctive, on a adopté le terme de « couleur ». Selon l'hypothèse actuelle, chaque quark existe sous trois formes colorées, disons rouge, blanc et bleu. Ces termes ne sont introduits que pour évoquer une différence de propriétés et, en aucun cas ils signifient que les quarks sont teintés et que les interactions entre particules rappellent les spectacles psychédéliques...). Main-

tenant, sans violer le principe d'exclusion, on pourra admettre que le proton est formé d'un Q_p (rouge), d'un Q_p (blanc) et d'un Q_n (bleu). Dans nos particules familières, la couleur disparaît par effet de moyenne, mais il n'est pas impossible que cette même propriété se situe à la base de certaines énigmes posées par les particules récemment découvertes, dont nous parlerons plus loin. Toutefois, nous ne nous appuierons pas ici sur l'interprétation par la couleur et nous la laisserons de côté.

Nous allons maintenant introduire la propriété supplémentaire de charme en augmentant le nombre des quarks. Le fait d'ajouter un quark charmé (Q_c) à notre liste ne modifie pas notre information concernant la spectroscopie et la diffusion, car nous affirmons que Q_c n'est pas un composant des particules bien connues. Voilà un bon départ... car nous aurions éprouvé quelque déception s'il avait fallu abandonner notre modèle initial des quarks qui se révélait fructueux.

Il convient de mentionner que l'hypothèse de l'existence d'un type supplémentaire de quark n'est pas nouvelle. Elle a été proposée il y a dix ans par plusieurs théoriciens mais pour des raisons toutes différentes (par exemple pour tenter de construire les particules connues à partir de quarks ayant des charges entières au lieu de charges qui sont des multiples du tiers de la charge de l'électron).

L'introduction de Q_c permet de construire de nouvelles particules qui présenteront un comportement particulier.

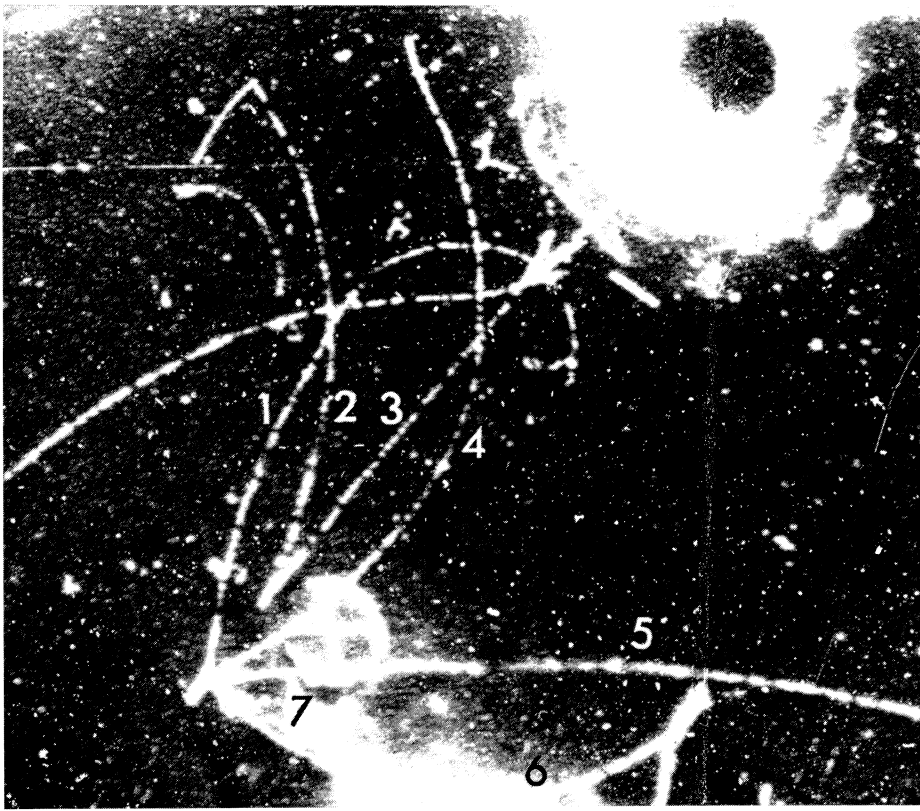
L'importance des découvertes de nouvelles particules

Revenons maintenant sur les découvertes expérimentales afin de comprendre pourquoi le charme se trouve davantage mis en lumière.

Initialement, les découvertes remarquables (voir numéro de décembre 1974) effectuées avec le double spectromètre de Brookhaven et avec l'anneau de stockage à électrons-positons SPEAR, à Stanford, semblaient totalement mystérieuses. On avait trouvé des particules ayant trois fois la masse du proton, tout en étant remarquablement stables. Selon la théorie actuellement la plus en faveur, la particule de 3,1 GeV est formée d'un quark charmé et d'un antiquark charmé ($Q_c \bar{Q}_c$). Cette combinaison est parfois appelée « charmonium ».

(Pour désigner la nouvelle propriété, M.B. Einhorn et C. Quigg du Laboratoire Fermi avaient choisi en s'amusant le terme « panda » au lieu de charme car, disent-ils, « nous avons choisi ce terme compte tenu de la timidité bien connue du panda et de sa tendance à rester parmi ses congénères; nous avons également été influencés par la grande masse du panda géant... ». Ils purent alors donner le nom de « pandamonium » à la particule de 3,1 GeV, terme qui reflétait bien l'impact de cette découverte sur la physique des particules.)

Les quarks étranges interviennent dans un cas analogue qui a déjà été bien étudié. Par rapport à ses « condisciples », les mésons oméga et rho, le méson phi possède une masse et une



Événement photographié dans Gargamelle, la chambre à bulles à liquides lourds, dans lequel une particule charmée semble être intervenue. L'interaction entre un neutrino (provenant de la gauche) et un nucléon semble avoir produit les particules suivantes: 1) un positon, 2 et 3) désintégration d'un kaon neutre, 4) un pion négatif, 5) un pion positif ou un proton, 6) un muon, 7) un pion positif ou un proton. Si ces attributions sont correctes, l'événement est une bonne signature du charme puisque deux leptons ainsi qu'une particule étrange émergent d'une interaction neutrino.

stabilité étonnamment élevées. Le ϕ est composé d'un Q_s et d'un $\bar{Q}_s$. (Incidentement, on ne comprend pas encore très bien comment un quark et un antiquark peuvent coexister sans s'annihiler mutuellement, mais de tels systèmes ne sont toutefois pas inconnus: la physique atomique avait déjà considéré que l'électron et le positon pouvaient tourner l'un autour de l'autre pendant un temps très court en formant un système appelé positonium.) Le ϕ , qui a une masse de 1 GeV, éprouve quelque difficulté à se désintégrer en deux kaons (de masse voisine de 0,5 GeV); il s'agit là pourtant du mécanisme de désintégration préférentiel, permettant de ne pas perdre la propriété d'étrangeté que portent les deux quarks qui le composent. Le ϕ n'aime pas se désintégrer en deux pions, car ceux-ci ne sont pas formés de quarks étranges; ce comportement explique sa stabilité. Il faut noter que le ϕ lui-même n'est pas porteur d'étrangeté; les étrangetés du quark et de l'antiquark s'annulent et il est dit que ce méson a une « étrangeté dissimulée ». Cette étrangeté ne devient apparente que lorsqu'il se scinde en deux kaons.

De la même manière, il a été suggéré que les nouvelles particules de 3,1 GeV et de 3,7 GeV possèdent un « charme dissimulé ». La particule de 3,1 GeV est un système $Q_c \bar{Q}_c$ et la particule de 3,7 GeV est formée de ce même système et de certains autres quarks. Il semble que le quark charmé soit notablement plus lourd que les autres et que les particules formées de Q_c doivent avoir une masse élevée. Ainsi,

les mésons charmés qui pourraient être les produits de la désintégration de l'état de 3,1 GeV (le charme réapparaissant tout comme l'étrangeté pour les kaons issus du ϕ) sont probablement trop lourds pour que cette désintégration soit possible. Ceci expliquerait la stabilité élevée de la particule de 3,1 GeV. On a observé qu'elle pouvait produire des paires de leptons, mais elle n'aime pas ce mode de désintégration car il lui faut se débarrasser du charme (de même que le ϕ répugne à se désintégrer en pions, car il lui faudrait s'affranchir de l'étrangeté). De ce fait, cet état vit un certain temps avant de se désintégrer en leptons.

Nous sommes alors en mesure de proposer une première évaluation de la masse d'une particule charmée. Ni l'état de 3,1 GeV ni celui de 3,7 GeV (qui se transforme en une particule de 3,1 GeV plus des pions) ne se désintègrent aisément en deux mésons charmés, habituellement appelés: particules D. Par conséquent, la masse du D doit être supérieure à $\frac{1}{2}$ (3,7) GeV. Toutefois, avec l'anneau de stockage SPEAR de Stanford on a découvert un pic plus flou autour de 4,1 GeV, correspondant à une particule de stabilité beaucoup plus faible. Il peut s'agir d'une autre variante du système ($Q_c \bar{Q}_c$) + d'autres quarks, mais ayant cette fois une masse suffisante pour pouvoir se désintégrer en deux mésons charmés. Nous pouvons par conséquent situer la masse de la particule D au-dessous de $\frac{1}{2}$ (4,1) GeV, c'est-à-dire que sa valeur doit être proche de 2 GeV.

Les calculs théoriques conduisent également à une masse du D située dans cette région des 2 GeV. Sachant qu'il existe des états de 3,1 GeV et de 3,7 GeV, nous pouvons alors calculer les masses des autres particules, tout comme il était possible d'utiliser les « anciennes » tables de spectroscopie particulaire afin de prédire d'autres masses lorsque certaines étaient connues.

Guide du profane pour la recherche de particules charmées

Comment allons-nous reconnaître des particules charmées? En premier lieu, l'existence d'un nouveau quark entraîne l'existence de nouvelles particules qui ne s'inséreront pas dans les schémas de classification des particules que nous avons réussi à élaborer avec tant de succès, en partant de trois quarks. Il existe deux groupes possibles de particules: les mésons charmés, tels que les D, dans lesquels le Q_c est associé à un autre antiquark, ou dans lesquels $\bar{Q}_c$ est associé à un quark, et les baryons charmés, où Q_c remplace un des quarks plus classiques, dans les configurations connues des baryons. Nous pourrions les repérer grâce aux caractéristiques inhabituelles de la désintégration de tels mésons ou baryons.

i) Dans la désintégration par l'intermédiaire de l'interaction faible, le charme n'a pas à être conservé (tout comme l'étrangeté qui peut disparaître avec un certain effort dans les interactions faibles). Cela signifie que le quark charmé est converti en un autre type et, du point de vue théorique, on peut écrire des équations pour le calcul des probabilités de conversion de Q_c en l'un ou l'autre des quarks usuels. Il en résulte que le Q_c tend préférentiellement à se convertir en Q_s , ce qui constitue une signature de première importance. En effet, si des particules charmées sont produites, nous pouvons nous attendre à ce que leurs désintégrations conduisent à des nombres exceptionnellement élevés de particules étranges.

ii) Les désintégrations de particules

* *SPEAR a été remis en marche
le 25 mars et la zone Ouest le 8 avril.
L'énergie des faisceaux est
maintenant de 4 GeV.*

fournissent généralement des leptons; l'apparition de leptons issus de désintégrations de particules charmées selon des mécanismes inhabituels pourrait constituer une autre signature. Par exemple, le fait de détecter des leptons associés à des nombres élevés de particules étranges pourrait indiquer que les parents sont des particules charmées. Le fait de détecter des paires de leptons ne possédant pas les caractéristiques liées à la production normale de telles paires pourrait indiquer que l'un des éléments de la paire ou les deux sont issus de particules charmées.

iii) Dans les désintégrations de particules ne conduisant pas à des leptons, la violation des règles normales régissant de telles désintégrations pourrait à nouveau constituer un indice de l'intervention d'une particule charmée.

Résultats expérimentaux actuels

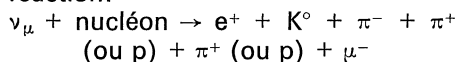
Une importante recherche basée sur la signature évoquée en (i) est en cours à l'anneau de stockage SPEAR. Si nous pensons que des particules D charmées sont produites dans la désintégration de la particule de masse proche de 4,1 GeV, avec « charme dissimulé », nous pouvons alors nous attendre à ce que le nombre de particules étranges produites dans les interactions à cette énergie augmente brusquement et de manière significative.

A ce jour, aucune nouvelle concernant la mesure du rapport kaons/pions, lorsque l'on passe par l'énergie 4 GeV n'est encore parvenue de SPEAR. (SPEAR a dû être arrêté pendant plusieurs semaines à la suite d'un incendie qui a provoqué des dégâts dans la zone d'expérimentation Ouest, le 15 mars; on espère reprendre l'exploitation incessamment.) * Le double spectromètre est également utilisé à Brookhaven pour la recherche de kaons, mais jusqu'ici aucune nouvelle n'est non plus parvenue. On trouvera dans les pages qui suivent un écho des derniers résultats concernant les anneaux DORIS de DESY.

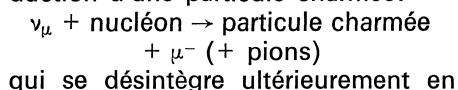
Aux anneaux de stockage à intersections du CERN, plusieurs recherches basées sur la signature mentionnée en (ii) sont actuellement en cours. Aux ISR, le fait que les collisions proton-proton se produisent à des énergies extrêmement élevées devrait conduire à la formation de nombreuses particules charmées, mais il est probable que la profusion des hadrons qui sont produits masquera toute signature purement hadronique.

Toutefois, le bruit de fond très faible pour les leptons incite à poursuivre dans cette voie intéressante. Etant donné que nous avons affaire à des interactions fortes, il s'ensuit que les particules charmées issues des collisions proton-proton doivent apparaître selon un mécanisme de production associée, décrit ci-dessus dans le cas des particules étranges, c'est-à-dire qu'une particule avec charme positif sera produite en même temps qu'une autre, ayant un charme négatif. On pourrait les repérer par l'intermédiaire des leptons, par exemple si une particule charmée se désintégrait en un électron et l'autre en un muon, ou si des leptons étaient observés dans des événements présentant des taux élevés pour la production de particules étranges. Jusqu'ici, pas de nouvelles...

A la chambre à bulles Gargamelle, exploitée au CERN, on étudie un événement neutrino qui semble étroitement lié à la production d'une particule charmée. (Notons que puisque nous avons affaire à une interaction faible, il n'est pas nécessaire de faire intervenir la production associée.) Cet événement présente précisément la signature à deux leptons et une particule étrange qui a été mentionnée plus haut. Si les traces ont été correctement identifiées, il s'ensuit que sur le film on a dû enregistrer la réaction:



Cette réaction rappelle bien la production d'une particule charmée:



donnant: $K^{0} + e^{+} + \nu_e$ (+ pions). Cet événement a été discuté lors d'une réunion sur les neutrinos, tenue à Paris du 18 au 20 mars. Si les traces ont été correctement affectées, on considère qu'il existe une probabilité inférieure à 1 % pour que l'événement résulte d'autres mécanismes parasites (par exemple un neutrino d'électron ayant pu contaminer le faisceau de neutrinos de muons, et constituant ainsi la source du positon).

Au Laboratoire Fermi, deux expériences ont permis d'observer des effets inhabituels dans des interactions neutrino produisant deux muons. Il s'agit de l'expérience Laboratoire Fermi-Harvard-Pennsylvanie-Wisconsin, effectuée par D. Cline, A.K. Mann et C. Rubbia, et de l'expérience CalTech-Laboratoire Fermi, conduite par B. Barish. Pour la première, on a détecté plus de 30 événements mystérieux à deux muons. La seconde a permis d'en repérer 4. Les chercheurs sont convaincus que les muons ne proviennent pas l'un de l'interaction initiale neutrino-nucléon et l'autre de la désintégration d'un pion ou d'un kaon. Des caractéristiques telles que le taux de production ou le fait qu'ils sont toujours de signes opposés, etc., semblent exclure cette possibilité.

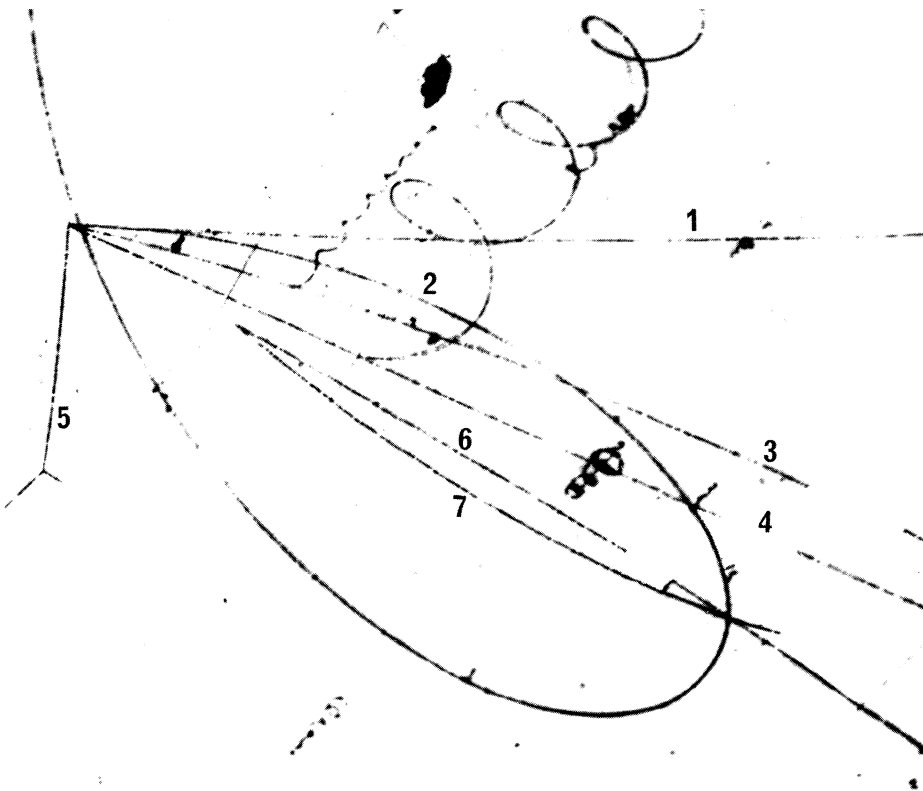
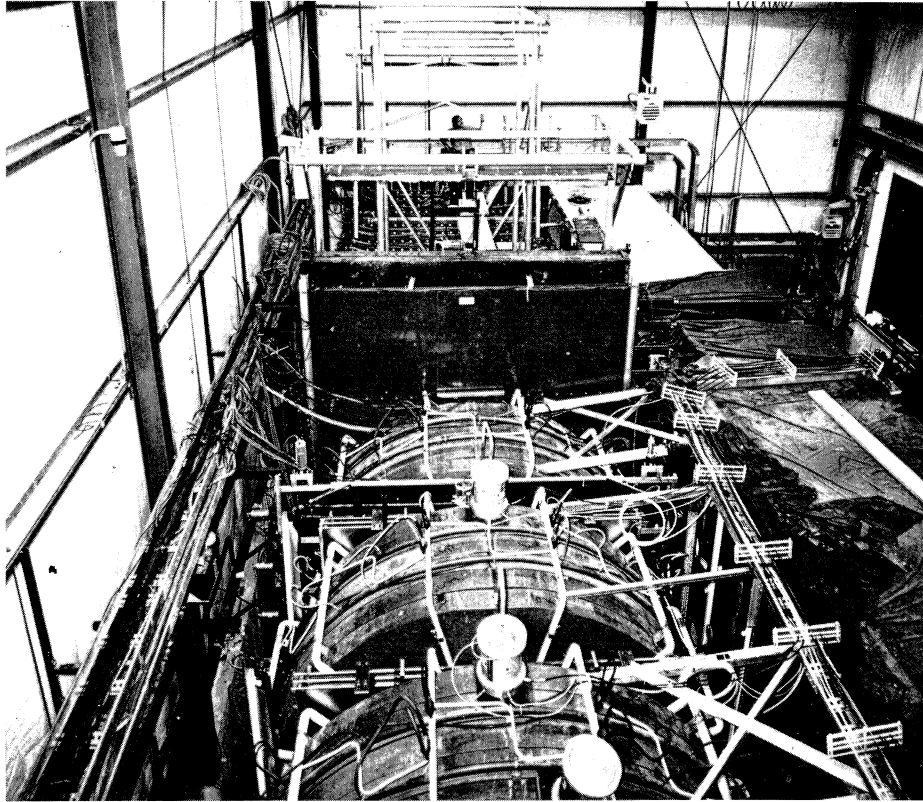
Les masses des muons associés ne présentent aucun pic ce qui indique, par exemple, qu'ils ne proviennent pas de la désintégration d'une particule telle que l'état de 3,1 GeV; elles sont assez uniformément distribuées sur un intervalle de plusieurs GeV. On observe également des caractéristiques inexplicables: en particulier, le muon négatif possède toujours une impulsion plus élevée que son homologue positif, ce qui semble violer la symétrie de charge.

Selon l'explication en faveur, ces nouvelles particules appelées γ (et non pas « Why » — pourquoi) sont produites dans la gamme des énergies de 2 à 4 GeV. Elles pourraient être des baryons charmés produits en même temps qu'un muon isolé, dans l'interaction initiale neutrino-nucléon. Ce baryon se désintégrerait ultérieu-

Partie de l'un des énormes systèmes de détection des neutrinos installés au Laboratoire Fermi et permettant de détecter les interactions neutrino produisant deux muons. Pour expliquer l'origine de ces muons, il semble qu'une interprétation complètement nouvelle soit nécessaire. Les détecteurs que l'on peut repérer sont de grandes chambres à dérive (les grandes plaques carrées de 4 m de côté) ainsi que des cylindres en acier aimanté formant le spectromètre de muons.

(Photo Lab. Fermi)

Cette illustration enregistrée dans la chambre à bulles de 7 pieds de Brookhaven est considérée comme représentant très probablement la désintégration d'une particule charmée, produite dans l'interaction entre un neutrino incident et un proton. Les traces sont respectivement affectées aux particules ci-après: 1) pion négatif; 2) pion positif (dont la désintégration ultérieure en un muon et un électron est également observée dans la chambre); 3) pion positif; 4) muon; 5) pion positif; 6 et 7) traces provenant de la désintégration d'un lambda neutre. Dans notre article, on présente certains raisonnements conduisant à admettre qu'une particule charmée se situe à l'origine de ces traces.



rement par interaction faible, en fournissant le second muon. Des détails sur ces événements à deux muons ont été publiés dans *Physics Review Letters*.

La signature de type (iii) est étudiée en particulier dans les chambres à bulles permettant souvent d'obtenir plus facilement des informations plus détaillées sur les particules issues d'une interaction. Le groupe de N.P. Samios, à Brookhaven, a détecté un événement que tout incite à attribuer à une particule charmée. Les données correspondantes seront publiées dans *Physics Review Letters*. Des photos enregistrées sur Gargamelle sont également étudiées avec grande attention.

L'équipe de Brookhaven analyse depuis environ neuf mois l'événement présenté sur la photo enregistrée dans une expérience neutrino avec la chambre à bulles de 7 pieds. Les chercheurs sont maintenant convaincus d'avoir identifié avec une probabilité élevée les particules qui sont à l'origine des traces. L'événement considéré serait:

$$\nu + p \rightarrow \mu^- + \Lambda^0 + \pi^+ + \pi^+ + \pi^+ + \pi^-$$

Un tel événement ne peut pas être expliqué en se référant aux lois de conservation normales régissant les interactions entre particules. En particulier, il viole la règle imposant que dans l'interaction forte la variation de l'étrangeté totale des particules soit égale à la variation de leur charge totale (règle $\Delta S = \Delta Q$). Dans cet événement, l'étrangeté a varié de -1 car le proton ($S = 0$) a fourni un lambda ($S = -1$), alors que la charge a varié de $+1$, puisque le proton ($Q = +1$) a produit un lambda et quatre pions (charge totale $Q = +2$).

Selon l'explication proposée, un baryon charmé a été produit:

$$\nu + p \rightarrow \mu^- + \text{baryon charmé.}$$

Celui-ci s'est ensuite désintégré en donnant le lambda et les pions. Les mesures effectuées sur les traces permettent de calculer la masse du baryon; elle serait d'environ 2,4 GeV. Les nouvelles particules nous ayant permis d'obtenir une bonne estimation de la masse du quark charmé, nous

Nouvelles du CERN

pouvons calculer la masse de l'état résultant de l'introduction d'un quark charmé dans un baryon; nous aboutissons ainsi à environ 2,4 GeV pour un baryon charmé.

L'interprétation semble donc extrêmement correcte. Ce qui est surprenant, c'est que cet événement a été découvert lors de l'examen de quelques centaines de photos seulement. L'étude des photographies enregistrées avec Gargamelle devrait permettre de détecter un bon nombre de telles désintégrations hadroniques, mais il reste qu'il est difficile d'établir une statistique à partir d'un seul événement. Comme l'indiquent les auteurs: « la validité des conjectures formulées ci-dessus ne pourra être vérifiée que par accumulation d'autres événements du même type ».

A l'époque des grandes découvertes...

Dans l'actuelle exaltation de la physique des hautes énergies, nous nous sommes surtout attachés à l'analyse de l'interprétation basée sur le « charme ». Elle peut se révéler incorrecte, car les preuves expérimentales restent insuffisantes, mais elle présente une cohérence convaincante.

V. Weisskopf aime bien évoquer ainsi le voyage de Colomb: « Les physiciens spécialistes des accélérateurs et les ingénieurs ont construit le bateau. Les expérimentateurs ont tenu la barre et découvert l'Amérique, alors que les théoriciens, restés à Madrid, avaient prédit que le navire accosterait en Inde... ».

Aujourd'hui, les théoriciens prévoient un accostage possible dans un bon nombre de pays; la seule chose dont nous puissions être absolument sûrs c'est que le navire a dépassé tous les continents explorés jusqu'alors et qu'il abordera nécessairement sur une « rive » complètement inconnue.

Un trio de directeurs généraux lors de la session du Conseil, le 21 mars. A gauche, le professeur W. Jentschke, actuel directeur général du Laboratoire I du CERN. Au centre et à droite, respectivement J.B. Adams et le professeur L. Van Hove, nommés à la tête des deux Laboratoires réunis à compter du 1^{er} janvier 1976.

Nomination des Directeurs généraux

Le 21 mars, au cours d'une session spéciale présidée par P. Levaux, le Conseil de l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire a nommé J.B. Adams et L. Van Hove directeurs généraux de l'Organisation pour une période de cinq ans, à compter du 1^{er} janvier 1976. J.B. Adams sera responsable de l'administration du CERN, du fonctionnement de l'équipement et des services, ainsi que de la construction des bâtiments et du gros matériel. Les activités de recherche de l'Organisation relèveront du professeur Van Hove.

Quand le Conseil a approuvé la construction du synchrotron à protons de 400 GeV en 1971, il a créé un second Laboratoire. Les deux Laboratoires devaient être unifiés quand l'accélérateur serait achevé. Le SPS doit entrer en service dans le courant de 1976 et le Conseil a décidé que les

Laboratoires devraient être réunis dès le mois de janvier 1976, date à laquelle l'actuel directeur général du Laboratoire I, le professeur W. Jentschke, aura achevé son mandat de cinq ans.

John Adams est entré au CERN dès la première heure et, après avoir dirigé l'équipe qui a construit le synchrotron à protons de 28 GeV, il est devenu directeur général en 1960, avant de retourner en Angleterre. De retour au CERN en qualité de directeur du projet d'accélérateur de 300 GeV au début de 1969, il a été nommé directeur général du Laboratoire II en 1971. Léon Van Hove est entré au CERN en 1961 en qualité de chef de la Division Etudes théoriques et a depuis lors joué un rôle prépondérant dans la vie scientifique de l'Organisation, occupant par deux fois les fonctions de directeur du Département Physique théorique (en 1966-1968 et en 1972-1974). Il a également assumé la présidence du Directoire scientifique de l'Institut de phy-



CERN 261.3.75