

décision a été prise de terminer la construction de la machine initiale UNK à 600 GeV, mais de limiter les travaux sur l'accélérateur UNK supraconducteur de 3 TeV à la R&D. Cependant, même à 600 GeV, la cadence des interactions de neutrinos reste intéressante et l'observation du neutrino du tau ainsi que la recherche d'oscillations produisant des neutrinos du tau dans les nouvelles régions cinématiques demeurent possibles.

JAPON

Dans les années 1980, tandis que les infrastructures de la recherche en physique des hautes énergies parvenaient à maturité, la physique expérimentale du neutrino était en plein essor au Japon. Elle se fondait sur trois approches différentes: les expériences avec des accélérateurs, la désintégration nucléaire bêta et une expérience souterraine à grande profondeur. Cette dernière, qui s'appuyait sur un détecteur Chérenkov à eau permettant une visualisation, fut un tel succès que le détecteur fait aujourd'hui l'objet d'un agrandissement considérable et qu'il dominera la recherche japonaise dans le domaine dans les années 90.

Dans les années 80, l'expérience E10 (KEK/Tokyo/Osaka) au synchrotron à protons de 12 GeV du laboratoire japonais KEK fut la première à rechercher l'émission d'un neutrino lourd dans la désintégration du kaon à l'arrêt; elle fut bientôt suivie par des expériences spécialisées: E89 et E104 (Tokyo/KEK). Un spectromètre magnétique à haute résolution appuyé par un vaste système d'élimination des photons permit d'établir en 1982 une bonne limite croisée sur la masse et la probabilité de mélange dans la gamme de masse des 100 MeV. Dix ans plus tard, le synchrotron va de nouveau passer à l'action dans le cadre de la recherche liée aux neutrinos (expérience E261a - voir plus bas).

La Collaboration VENUS a étudié au collisionneur électron-positon TRISTAN du KEK la production radiative de paires

de neutrinos et conclu, en combinant ses données avec celles des autres collisionneurs électron-positon, que le nombre de types de neutrinos légers devait être inférieur à quatre et cela avant même les mesures définitives des expériences au LEP en 1989. A la fin de 1980, aiguillonné par le résultat expérimental proclamé à Moscou d'une masse finie pour l'antineutrino de l'électron, un groupe comprenant des physiciens de l'INS (Institut des études nucléaires de Tokyo) a proposé une mesure de précision de l'extrémité du spectre bêta du tritium. L'accent a porté dès le début sur un étalonnage fiable.

Environ quatre ans ont été consacrés à la mise au point d'une source bêta optimale et à l'étalonnage pour obtenir des mesures de haute qualité. Au cours des quatre années qui suivirent, une série de mesures ont fourni une limite supérieure de 13 eV pour la masse.

Au début de 1991, une collaboration KEK/INS comprenant également quelques physiciens américains s'est lancée dans une expérience décisive sur le neutrino controversé de 17 keV. Conscient du danger de s'appuyer sur des effets subtils dans la forme du spectre bêta, le groupe a recherché dans le spectre un effet de seuil d'émission du neutrino avec une haute résolution, un faible bruit de fond et une précision statistique sans précédent. Le résultat d'une mesure prise sur trois mois a clairement exclu un tel neutrino.

Vers la fin des années 70, le concept très attrayant d'une grande unification des forces avait incité les physiciens à lancer une nouvelle génération de grandes expériences souterraines visant à observer la désintégration prédite du proton. Au Japon, la grande expérience souterraine Kamiokande (une collaboration Tokyo / Institut de recherche sur les rayons cosmiques / KEK / Niigata) avait pour but d'examiner la désintégration du proton dans l'eau d'un détecteur Chérenkov à visualisation de 3000 tonnes situé à une profondeur de 1000 m. L'installation de 1000 photomultiplicateurs spécialement conçus fut achevée en juillet 1983 et le premier résultat fut communiqué six mois plus tard.

La réponse du détecteur fut étalonnée (en dessous de 5 MeV) à l'aide des électrons émis par les muons cosmiques venant à s'arrêter dans le détec-

teur. La mesure, couronnée de succès, d'électrons d'aussi basse énergie montra que Kamiokande pouvait également identifier les électrons de recul lors d'interactions de neutrinos de basse énergie. La collaboration a été renforcée par un groupe de Pennsylvanie, qui l'aidera à améliorer la sensibilité à la désintégration des nucléons et à abaisser le seuil d'énergie pour la détection des neutrinos solaires. Un compteur Chérenkov à eau placé en anticoincidence fut construit autour du volume principal et le purificateur d'eau comme le système électronique furent sensiblement améliorés.

Le détecteur optimisé, Kamiokande-II, entra en service à la fin de 1985 et fournit l'année suivante ses premiers résultats portant sur 48,5 jours de données. Afin de réduire encore le bruit de fond dû à la radioactivité, le travail se poursuivit tout au long de 1986 pour améliorer le système de purification de l'eau.

Ces pénibles efforts furent récompensés de manière spectaculaire. Le 25 février 1987, un fax informa le groupe d'une supernova 'proche' à l'échelle astronomique. Peut-être le détecteur avait-il intercepté dans son fonctionnement de routine des neutrinos de cette explosion. Des bandes de données furent immédiatement expédiées à Tokyo pour y être analysées.

Le 27 février, une nuit entière fut passée à dépouiller les quelques centaines de pages de diagrammes de l'énergie en fonction du temps recueillis pendant 2,5 jours. Une indéniable explosion d'activité y apparut rapidement. Enregistrée le 23 février à 7 h 35 mn 35 s TU (± 1 minute) et d'une durée de 13 secondes, elle se composait de 11 événements à électron, dont les énergies allaient de 7,5 à 36 MeV. Ces neutrinos de la supernova SN1987A marquèrent le début de l'astronomie du neutrino.

L'exploitation du détecteur se poursuivant avec de très faibles bruits de fond et la collaboration étant agrandie, la voie fut ouverte à une nouvelle gamme d'expériences lorsque les neutrinos solaires furent détectés pour la première fois par une mesure directionnelle en temps réel. Le résultat récent de la mesure du flux à partir des données accumulées pendant 1554 jours représente une fraction de $0,50 \pm 0,04$ (stat.)

$\pm 0,06$ (sys.) de la prédiction du modèle solaire standard. Ce faible flux de neutrinos solaires du bore-8 auquel le détecteur Kamiokande est sensible a confirmé le déficit en neutrinos solaires, observé pour la première fois dans l'expérience classique utilisant du chlore. De plus, le flux mesuré par Kamiokande n'a montré aucun signe d'une dépendance saisonnière ou diurne/circadienne.

Les interactions de neutrinos atmosphériques dans le détecteur Kamiokande ont dû être étudiées soigneusement pour établir le bruit de fond pour toutes les désintégrations de proton.

Cette étude du bruit de fond a abouti à une conclusion surprenante, appelée l'anomalie des neutrinos atmosphériques : le rapport mesuré des événements de type muon aux événements de type électron est inférieur de quelque 60% à la valeur attendue. Il a été suggéré que ce flux de neutrinos du muon moindre que prévu résulte d'un phénomène inédit agissant sur les neutrinos.

L'étude des événements neutrino atmosphériques exige de bien connaître le pouvoir de séparation muon-électron, le rendement de détection des muons et des pions de faible impulsion, ainsi que les effets nucléaires dans les

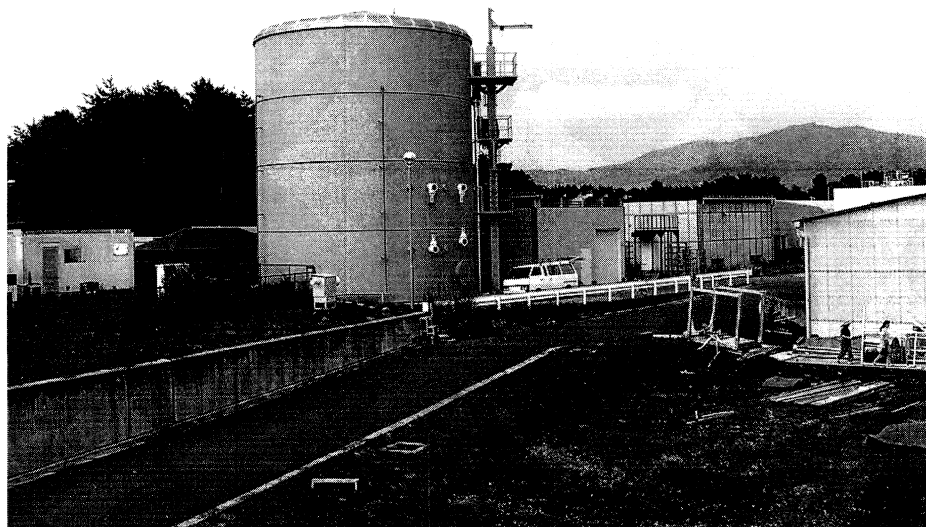
interactions des neutrinos avec l'eau. Compte tenu de l'importance possible de cette anomalie, une vérification minutieuse de la performance des détecteurs fut jugée nécessaire et l'expérience E261a (collaboration Kamiokande) au synchrotron à protons du KEK fut approuvée à cette fin. La construction d'un réservoir d'eau de 1000 tonnes a débuté en 1992 à l'extérieur du hall d'expérimentation Nord, et l'installation de 408 photomultiplicateurs de 50,8 cm vient juste de s'achever. L'expérience commencera au début de l'année prochaine avec un faisceau d'électrons, de pions et de muons d'impulsions allant de 0,2 à 1 GeV/c. Le réservoir est équipé de quatre entrées de faisceaux correspondant à des lignes de différentes longueurs. Une fois cette mesure effectuée, les chercheurs de l'expérience souterraine IMB aux Etats-Unis apporteront leurs photomultiplicateurs pour une expérience similaire.

Ce détecteur Chérenkov à eau pourrait aussi servir à étudier les interactions des neutrinos de désintégration des faisceaux du synchrotron; leur spectre d'énergie ressemblerait en fait à celui des neutrinos atmosphériques.

Expérience souterraine de la prochaine génération, le projet Super-

Kamiokande (une collaboration Kamiokande élargie, avec le concours d'un nombre égal de physiciens américains) a été approuvé en 1991 (mai 1991, page 9).

Les travaux d'excavation en vue de la construction d'un réservoir d'eau de 50 000 tonnes (40m x 41m x 30 m) vont de l'avant à quelque 150 m du détecteur actuel. De nouveaux photomultiplicateurs de 50,8 cm et leur électronique frontale ont déjà été mis au point et sont en cours de production. Des prototypes de cette électronique ont déjà été utilisés dans la dernière phase de l'expérience actuelle. Le nouveau détecteur sera opérationnel à compter de la fin de 1996 et devrait recueillir 26 000 événements de neutrinos solaires et 8 000 événements de neutrinos atmosphériques en trois ans. Il devrait aussi servir d'observatoire pour l'astronomie des neutrinos. On envisage également de tirer vers ce détecteur un faisceau de neutrinos provenant de l'accélérateur KEK afin de chercher des oscillations de neutrinos.



Détecteur Chérenkov à eau de 1000 tonnes construit pour effectuer des essais à proximité du hall d'expérimentation du Synchrotron à protons de 12 GeV du laboratoire japonais KEK. Une nouvelle ligne de faisceau secondaire de faible impulsion est en cours de construction.

**"WHEN I
WANT TO TALK
VACUUM
VALVES,
I TALK TO
HUNTINGTON."**

**More valves.
Better design.
First-class tech support.**

Whether you need butterfly or gate valves. Pneumatic or manual. Bakeable or elastomer-sealed. Right-angle, in-line or straight-through – Huntington is the place . . .

Broader selection and better designs. Like their unique conical seats, for tighter seals. Or their patented butterfly floating shaft, for perfect flapper centering. Or their solid construction, with less welding for better integrity . . .

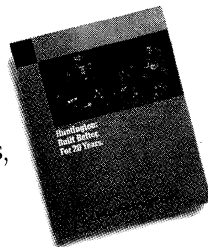
And when you call Huntington, you get intelligent

answers. Because their engineers *know* valves. And how to solve vacuum problems.

Plus, they've got a lot more than valves . . .

It's all in the free catalog.

Everything. From positioners to connectors to full custom chambers. To get the catalog, just call: Huntington Laboratories, 1040 L'Avenida, Mountain View, CA 94043. (800) 227-8059 or (415) 964-3323.



Huntington®
Better-Built Vacuum Components

