

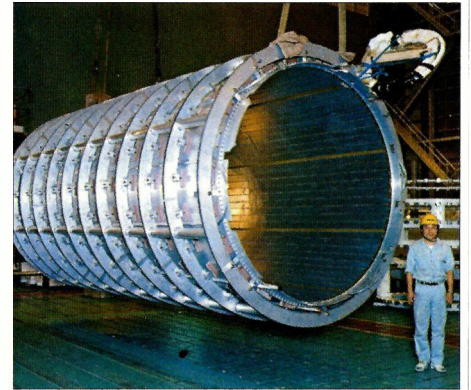
## Solénoïde d'ATLAS: bobinage terminé!

Le bobinage de l'aimant central solénoïde de la future expérience ATLAS auprès du Grand collisionneur de hadrons du CERN est terminé. Ce solénoïde supraconducteur produira une induction magnétique de 2 T dans le volume central de trajectographie d'ATLAS. Il a été conçu et mis au point par Akira Yamamoto et son équipe au Laboratoire japonais KEK en tant que contribution en nature du Japon au système magnétique d'ATLAS.

La bobine, de 5,5 tonnes, mesure 2513 mm de diamètre, 5300 mm de longueur et 45 mm d'épaisseur. Elle utilise un câble réalisé avec un stabilisateur en aluminium haute résistance, mis au point par Furukawa Electric et Hitachi Cables, afin que la bobine soit aussi mince que possible. Le câble, long de quelque 8,92 km, est bobiné – on compte au total 1151 spires – à l'intérieur d'un

cylindre en aluminium réalisé par Oxford Instruments. Il a fallu quatre mois à Toshiba, au Japon, pour l'enroulement et le traitement à chaud de la bobine. Des bandes de propagation de la transition courent longitudinalement sur la surface interne du solénoïde.

Des anneaux de renfort extérieurs soutiennent actuellement le solénoïde. Ils seront enlevés au début de l'an prochain, lorsque le solénoïde sera monté dans le cylindre interne du cryostat (que construit actuellement le Laboratoire national de Brookhaven, aux Etats-Unis) où sera également installé le calorimètre à argon liquide de la partie tonneau d'ATLAS. Tout le système du solénoïde sera ensuite soumis à des essais de refroidissement et d'excitation au Japon avant d'être expédié en 2001 au CERN avec le système cryogénique associé.



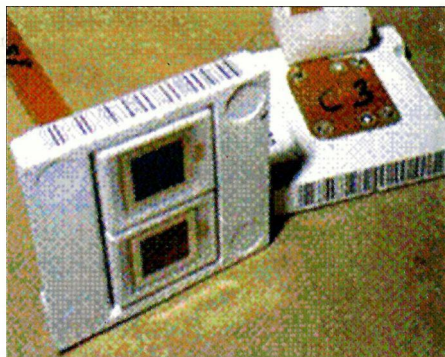
*L'aimant solénoïde central de la future expérience ATLAS auprès du Grand collisionneur de hadrons du CERN a été conçu et mis au point au Laboratoire japonais KEK.*

## Les photodiodes à avalanche arrivent à maturité

Dans leur recherche de performances optimales sous des conditions difficiles, les expérimentateurs au LHC du CERN exploitent des technologies nouvelles. Un exemple en est l'utilisation à grande échelle de photodiodes à avalanche pour la lecture des signaux lumineux produits par des particules à interaction électromagnétique dans le détecteur CMS.

Les photodiodes – des semi-conducteurs photosensibles – sont employées depuis longtemps en physique des hautes énergies pour lire les signaux des fibres scintillantes et des cristaux luminescents dans les calorimètres parce que les champs magnétiques intenses ou le manque de place peuvent interdire l'emploi de dispositifs à vide. Un exemple en est la simple photodiode p-i-n comprenant une couche de semi-conducteur intrinsèque entre deux couches p et n.

La photodiode à avalanche (APD) représente une amélioration de cette configuration de base. La tension de polarisation appliquée produit une région où le champ intense (150 kV/cm ou plus) engendre une avalanche de porteurs secondaires et amplifie ainsi le signal. Le gain obtenu dépend à la fois du champ appliqué et de la température. Cette technique a de plus l'avantage d'amplifier pleinement le signal provenant de la lumière de scintillation absorbée à la surface sans amplifier les signaux engendrés par les particules ionisantes traversant la diode.



*Deux photodiodes à avalanche, toutes deux de 5 x 5 mm, du type qui sera utilisé dans l'expérience CMS au Grand collisionneur de hadrons du CERN.*

Un autre perfectionnement du dispositif à avalanche apparaît avec la structure "inversée", mise au point au début des années 90, dans laquelle on place une couche mince de photoconversion devant la région d'avalanche épaisse (contrairement aux dispositifs d'avalanche normaux dans lesquels la couche de photoconversion est plus épaisse).

Les cristaux scintillants, utilisés pour mesurer l'énergie électromagnétique, constituent l'une des grandes retombées fructueuses de la physique des particules. Dans les grands détecteurs, tels que CMS au LHC du CERN, le tungstate de plomb a

permis la conception de calorimètres compacts produisant des signaux prompts et brefs. Cependant, comme ce cristal fournit peu de lumière, la lecture par APD combinant l'amplification du signal lumineux et l'insensibilité aux particules ionisantes joue un rôle crucial.

La mise au point de diodes APD capables de résister aux flux élevés de particules de l'environnement de CMS a demandé des travaux supplémentaires de R&D menés avec deux fournisseurs spécialisés.

La mise à l'épreuve de plus de 30 prototypes différents des APD a permis des progrès substantiels et les essais en faisceaux, sur des cristaux de tungstate de plomb, montrent que l'on atteint la résolution nominale en énergie, mieux que 0,5%. La tâche suivante consistait à évaluer les qualités respectives des méthodes de fabrication par croissance épitaxiale et par diffusion.

L'an dernier CMS a choisi l'épitaxie et après de nouveaux travaux, un contrat a été signé au Japon entre le PSI (appuyé par l'ETH Zurich, Northeastern University et avec la contribution des universités du Minnesota et de Split) et Hamamatsu pour la fourniture de 130 000 APD.

Pendant ce temps un module en vraie grandeur du calorimètre électromagnétique CMS, comprenant 400 cristaux de tungstate de plomb avec lecture par 800 APD, est en construction au CERN.

# De nouveaux rayons X au Jefferson

Une expérience récente au laser infrarouge (IR) à électrons libres du Laboratoire Jefferson a permis de détecter et de confirmer les rayons X de diffusion de Thomson et d'en effectuer une caractérisation initiale. Les résultats obtenus pourraient être annonciateurs d'un volet supplémentaire dans le programme de développement du laser à électrons libres (LEL) du Laboratoire. Les expérimentateurs ont utilisé une configuration spéciale des équipements optiques pour extraire des impulsions de rayons X intenses, ultrabrèves (quelques centaines de femtosecondes) en coïncidence avec les impulsions de lumière infrarouge du LEL piloté par faisceau d'électrons. Les impulsions de rayons X sont engendrées au sein du LEL par diffusion de Thomson de la lumière IR sur les électrons. Les caractéristiques

d'exploitation du LEL ont permis d'obtenir des résultats utiles en quelques jours seulement. Des impulsions de rayons X combinées et synchronisées avec des impulsions IR permettent des études de type impulsion-exploration: une impulsion prépare un système-cible en y créant sur moins d'une sous-seconde des conditions physiques particulières que l'autre impulsion permet d'étudier.

En physique du solide et en science des matériaux, les applications de cette technique pourraient comprendre la dynamique des transitions de phase dans la matière condensée, la surveillance des changements structuraux dans les matériaux à très haute résolution temporelle et la propagation de la chaleur à l'échelle submicrométrique. En biologie et en chimie, elle pourrait servir

dans l'étude des changements de l'ordre à courte portée dans les réactions chimiques. En physique des accélérateurs, elle pourrait servir à mettre au point de nouveaux diagnostics du faisceau dans les sources de lumière de la prochaine génération.

La mise au point par le Laboratoire de divers LEL de puissances moyennes élevées est une application de la technologie des systèmes d'accélération radiofréquence supraconducteurs au cœur de l'accélérateur à ondes continues de 6 GeV utilisé pour la physique nucléaire. En juillet, un LEL de l'ordre du kilowatt, construit essentiellement grâce à des fonds de la Marine, a fourni une lumière d'une longueur d'onde de 3,1  $\mu\text{m}$  avec une puissance moyenne de 1,72 kW (*Courrier CERN* septembre 1999 p7).

## HAPPEX sonde la 'mer' d'étrangeté du nucléon

Le proton n'est pas étrange – c'est la conclusion des résultats initiaux d'une expérience au Laboratoire Jefferson, Newport News, Virginie, qui éclaire d'une lumière nouvelle l'intérieur profond des particules nucléaires.

Il est classique de considérer le proton comme constitué de trois quarks de "valence" – deux de type "u" et un de type "d". Cependant, en 1987 l'expérience de la Collaboration muon et spin (EMC) au CERN a révélé que les quarks ne portent que 30% seulement du spin (moment cinétique intrinsèque) du nucléon et depuis lors les physiciens recherchent ce qui peut bien porter le spin manquant.

Outre leur squelette de quarks de valence, les particules subnucléaires contiennent toutes une "mer" fluctuante de quarks et d'antiquarks transitoires et des gluons qui échangent les informations entre les quarks.

Dans le cas du proton, la composition de cette mer ne se limiterait pas nécessairement aux quarks légers u et d, elle pourrait inclure certains des quarks plus lourds et exotiques, en particulier

le quark "étrange" qui entre dans la constitution de particules que l'on ne trouve pas normalement dans notre monde quotidien. Il est possible que cette mer mouvante contribue au spin manquant de la particule hôte. C'est pour étudier ce problème que l'expérience HAPPEX à l'accélérateur d'électrons CEBAF du Laboratoire Jefferson a été mise au point. Il s'agit de diffuser un faisceau d'électrons polarisés de haute énergie et d'examiner la distribution des spins des électrons diffusés.

Lorsque des électrons "rebondissent" sur des protons, l'interaction peut se transmettre soit par le photon de la force électromagnétique, soit par le porteur neutre Z de la force faible. La subtile interférence de ces deux effets dépend de la manière dont les électrons interagissent avec les quarks du proton. Il en résulte une asymétrie gauche-droite caractéristique du faisceau diffusé. Plus particulièrement, tout quark étrange doit contribuer à cette asymétrie d'une façon différente de celle des quarks u et d plus abondants.

HAPPEX utilise un faisceau d'électrons polarisés de 3,356 GeV et de 100  $\mu\text{A}$  provenant d'une photo-

cathode à semi-conducteur excitée par laser. Pour mesurer les asymétries, d'une valeur attendue de l'ordre des millièmes, on a évité toute corrélation entre l'orientation du spin du faisceau et l'intensité à l'aide d'un système de rétroaction complexe. L'asymétrie mesurée par HAPPEX,  $-14,5 \pm 2,2$  millièmes, est surprenante car elle ne correspond qu'à une infime contribution des quarks étranges. Cependant, pour parvenir à une conclusion définitive, davantage de données sont nécessaires afin de séparer les contributions de la charge et du magnétisme à l'asymétrie.

La nouvelle période d'expérimentation de l'été dernier devrait réduire l'incertitude actuelle d'un facteur deux et les expérimentateurs considèrent le succès d'HAPPEX comme très prometteur pour l'emploi futur de ces techniques qui constituent une sonde pénétrante des effets les plus subtils dans la structure nucléonique et nucléaire. L'intensité élevée, associée avec la forte polarisation du faisceau d'électrons (jusqu'à 70%), représente un succès considérable du Laboratoire Jefferson.

## Un nouveau centre de données à Brookhaven

Brookhaven et l'université de l'Etat de New York à Stony Brook ont créé à Brookhaven un nouveau centre de calcul électronique avec de gros volumes de données. Son directeur est James Gliman, professeur de mathématiques appliquées et de statistiques à l'université de l'Etat de New York.

Lorsque la recherche physique commencera avec le nouveau collisionneur d'ions lourds relativistes de Brookhaven, le grand nombre de particules produites à chaque collision créera de gigantesques volumes de données. Brookhaven est aussi l'un des centres nationaux américains de

traitement des données pour l'expérience ATLAS avec le collisionneur de protons LHC du CERN, qui devrait entrer en service en 2005.

Dans d'autres disciplines scientifiques, Brookhaven, où se trouve la Source nationale américaine de lumière synchrotron, prend une part croissante aux recherches en vue de déterminer les structures des protéines.

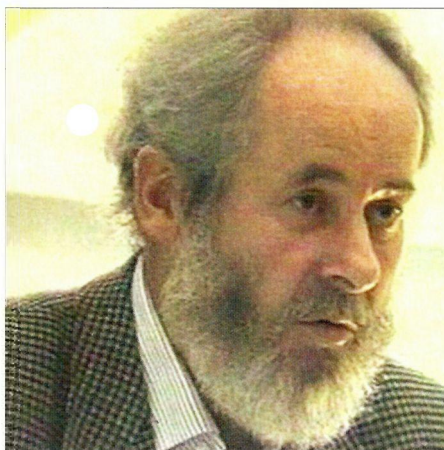
# SAMBA: les applications des détecteurs

Les physiciens des hautes énergies constatent avec fierté que leurs appareils ont de nombreuses applications dans d'autres domaines. Un récent symposium intitulé "Applications spéciales des détecteurs de particules en médecine, biologie et astrophysique" (SAMBA), a prouvé toute la réalité de cela. La rencontre, qui s'est tenue à Siegen, en Allemagne, du 6 au 8 octobre, fut véritablement multidisciplinaire, à tel point qu'elle était parrainée par l'Institut de recherches en sciences sociales et en sciences humaines de Siegen. Cet événement a illustré la contribution de la physique appliquée à notre culture et au bien-être social.

Amos Breskin (Institut Weizmann, Israël) a exposé les applications de l'imagerie d'une avalanche dans le gaz par des photomultiplicateurs originaux de grande surface dans l'évaluation des radiolésions de l'ADN, les mammographies numériques et le dépistage précoce des cancers. Ces aspects ont été soulignés par Fulvia Arfelli (Trieste) qui a traité des problèmes de diagnostic difficiles auxquels il faut faire face pour détecter des microcalcifications, possibles indicateurs d'un cancer du sein.

Les perspectives que laisse entrevoir l'utilisation d'installations à synchrotrons pour la cristallographie macromoléculaire, en particulier pour les protéines, ont été présentées par Peter Laggner (Graz, Autriche). Le développement de techniques de dispersion anormale multi-longueurs d'ondes a fait de cette méthode, au départ un sujet d'études pour universitaires, une industrie à grande échelle et à fort rendement. L'accent a été mis sur l'importance des mesures à résolution temporelle dans l'analyse de la structure des rayons X pour les expériences de diffusion diffractive à petits et grands angles sur des matériaux non cristallins.

La technique de saut-relaxation donne accès à des intervalles de temps de quelques microsecondes seulement où l'on peut analyser les processus de structure supramoléculaire provoqués par un changement de paramètres comme la pression, la température ou l'environnement chimique. Ce type d'expérience appelle la mise au point de nouveaux détecteurs, à haute résolution et à débit élevé pour permettre d'exploiter pleinement la brillance des puissantes sources de rayonnement synchrotron. Ces installations expérimentales, conçues comme des appareils à fonctions et à utilisateurs multiples, rendent nécessaire l'élaboration de nouvelles approches intégrées en matière de mesures et de contrôle des détecteurs, de compression rapide des données et d'intelligence



*Gerhard Kraft du GSI Darmstadt a décrit les succès du traitement des tumeurs.*

artificielle dans l'évaluation de résultats.

Les systèmes d'imagerie commerciaux destinés à des applications médicales ont été traités par Detlef Mattern (Siemens/Erlangen). Malgré les tentatives actuelles pour passer à des détecteurs à conversion directe, les scintillateurs sont toujours largement utilisés pour l'imagerie médicale. Dans la pratique clinique actuelle, différents dispositifs de scintillation effectuent l'essentiel du travail en radiographie, en tomographie par ordinateur et en médecine nucléaire. Concernant la radiographie, la mise au point de détecteurs plats à rayons X à couches de scintillation déposées par évaporation ne devrait pas tarder. Cependant, les tubes intensificateurs d'images aux rayons X sont compétitifs et possèdent des propriétés qui restent difficiles à surpasser, comme la vitesse et la plage dynamique. Bien que les tubes intensificateurs d'images aux rayons X présentent des inconvénients tels la taille et le poids, ils donnent une meilleure qualité d'image et sont devenus moins chers au fil des décennies. Les détecteurs utilisés en tomographie par ordinateur, qui étaient initialement des scintillateurs, sont devenus des détecteurs gazeux à conversion directe, puis à nouveau des scintillateurs. Les besoins extrêmes en matière de synchronisation et la modularité des détecteurs ont exclu des conceptions qui seraient très performantes dans d'autres domaines.

Le domaine de la médecine nucléaire est un bon exemple de la difficulté à remplacer une technologie fiable et bon marché. Pendant de nombreuses années, des convertisseurs directs comme le tellure de cadmium ont été proposés en remplacement des compteurs à scintillation au

Nal(Tl). Cependant, il est difficile de faire mieux, au même coût, que ce scintillateur très lumineux quand il est utilisé en association avec un photomultiplicateur, pratiquement silencieux. De nouveaux modèles de photomultiplicateurs multianodes ultracompacts pourraient même rendre les caméras gamma plus compactes, sans utiliser de détecteurs à conversion directe.

L'un des moments forts de la rencontre fut l'intervention de Gerhard Kraft (GSI Darmstadt, Allemagne) sur l'instrumentation pour le traitement des tumeurs avec des faisceaux d'ions lourds. En tirant parti du pic de Bragg à la fin du parcours des particules chargées et du caractère non linéaire de la sensibilité biologique au dépôt d'énergie, la petite différence d'efficacité entre la destruction des cellules saines et la destruction des cellules cancéreuses devient suffisante pour que les tumeurs bien localisées soient détruites avec précision. Des émetteurs bêta à courte durée de vie formés par fragmentation de faisceaux de carbone 12 sont utilisés pour contrôler les résultats au moyen de l'imagerie par TEP.

Des compteurs à pixels à granularité élevée sont également utilisés comme détecteurs focaux pour l'astronomie en rayons X. Lothar Strüder (Institut Max Planck pour la physique extraterrestre, Munich) a décrit les résultats des missions ROSAT et Chandra, pour lesquels il convient de prendre en compte les dégâts par rayonnement des compteurs à semi-conducteurs provoqués par les ceintures de radiations de la Terre. Des problèmes similaires concernant la résistance aux radiations devront également être résolus pour les détecteurs du LHC.

Allan Hallgren (Uppsala) s'est intéressé aux détecteurs de particules en astrophysique. Il a décrit les avantages d'une astronomie des neutrinos utilisant la glace de l'Antarctique comme milieu Cherenkov. La recherche de la matière obscure au moyen de détecteurs cryogéniques a été traitée par Klaus Pretzl (Berne). Ces systèmes cryogéniques sont aussi des candidats prometteurs pour une nouvelle génération de trajectographes destinés aux futures expériences avec des accélérateurs. Une conférence publique donnée par Claus Grupen (Siegen), intitulée "Applications des détecteurs de particules en astrophysique" a attiré un large public.

La rencontre était organisée par H J Besch, C Grupen, N A Pavel, A Taune et A H Walenta. Pour plus d'informations, consultez "<http://www.physik.uni-siegen.de/samba/>".

# Désintégrations rares à Novossibirsk

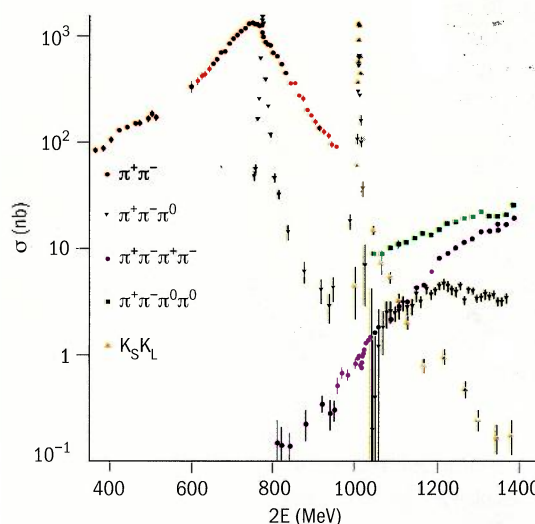
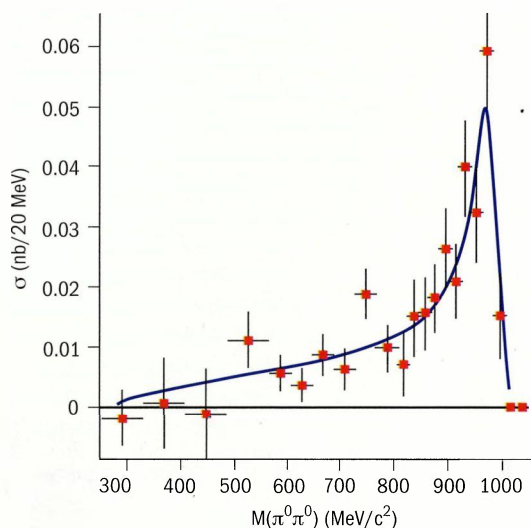


Fig. 1 (à gauche): Première observation de la transition dipolaire électrique vers un  $f_0$  (980) et un photon au collisionneur électron-positon VEPP-2M de Novossibirsk.

Fig. 2 (à droite): Variation avec l'énergie des processus essentiels contribuant à l'annihilation électron-positon en hadrons au VEPP-2M.

Le collisionneur électron-positon VEPP-2M, en exploitation à l'Institut Budker de physique nucléaire de Novossibirsk depuis 1974, a accumulé plus de  $4 \times 10^7$  mésons phi avant les débuts de la nouvelle usine à mésons phi DAPHNE en Italie. Offrant une luminosité relativement élevée de  $3 \times 10^{30} \text{ cm}^{-2}/\text{s}$  à l'énergie du phi (1,02 GeV) et une maille magnétique souple, le VEPP-2M a pu être exploité autour du seuil de production des pions jusqu'à une énergie de collision de 1,4 GeV.

Deux détecteurs y ont été installés pour une série d'expériences qui a débuté en 1992: CMD-2 (détecteur magnétique cryogénique) – un détecteur polyvalent comprenant une chambre à dérive montée dans un solénoïde supraconducteur de 1 Tesla et des calorimètres électromagnétiques en iode de césium pour la partie tonneau et en germanate de bismuth pour les bouchons – et SND (détecteur sphérique pour neutres) – un détecteur non magnétique dont le calorimètre en iode de sodium intercepte la quasi totalité de l'angle solide. Ces détecteurs se sont complétés dans la recherche des modes de désintégration rares des mésons rho, oméga et phi ainsi que dans la mesure de grande précision des sections efficaces hadroniques.

Parmi les nombreuses mesures de précision de divers modes de désintégration du phi, citons la première observation de la transition dipolaire électrique vers le  $f_0$ (980) plus un photon (fig. 1) et vers le  $a_0$ (980) plus un photon. Le rapport d'embranchement élevé, de l'ordre de  $10^{-4}$ , pourrait indiquer que ces particules scalaires énigmatiques possèdent une structure exotique à quatre quarks.

Une autre désintégration radiative du phi, en éta plus photon, observée dans ces deux détecteurs, constituait le maillon manquant d'une longue chaîne de transitions dipolaires magnétiques parmi les mésons vecteurs et pseudoscalaires formés de quarks légers. D'autres désintégrations, doublement inhibées, sont également intéressantes pour les théoriciens, elles aboutissent à deux pions chargés, un oméga et un pion neutre ou à quatre pions chargés. Les mesures à basse énergie de la section efficace totale d'annihilation électron-positon, R, permettront de calculer avec précision la polarisation du vide hadronique qui limite actuellement d'autres analyses de précision. L'objectif est de mesurer R à mieux que 1% près.

La contribution dominante en dessous de 1 GeV provient de la réaction hadronique la plus simple en paires de pions chargés. Sur plus de 2 millions d'événements à paires de pions détectés par CMD-2, quelque 150 000 ont été analysés dans la gamme d'énergie du méson rho (610-960 MeV). L'analyse approfondie des effets systématiques possibles a permis en fin de compte de mesurer la section efficace avec une incertitude systématique de seulement 0,6%.

Citons parmi les autres succès la mesure de la production de trois et de quatre pions au-dessus de l'énergie du méson phi. La section efficace d'annihilation en trois pions (dont deux chargés) mesurée par SND concorde avec les mesures précédentes, mais elle est plus précise et présente une allure bien particulière compatible avec l'existence d'un oméga à 1200 MeV plutôt qu'à 1420 MeV comme

suggéré par les interprétations précédentes.

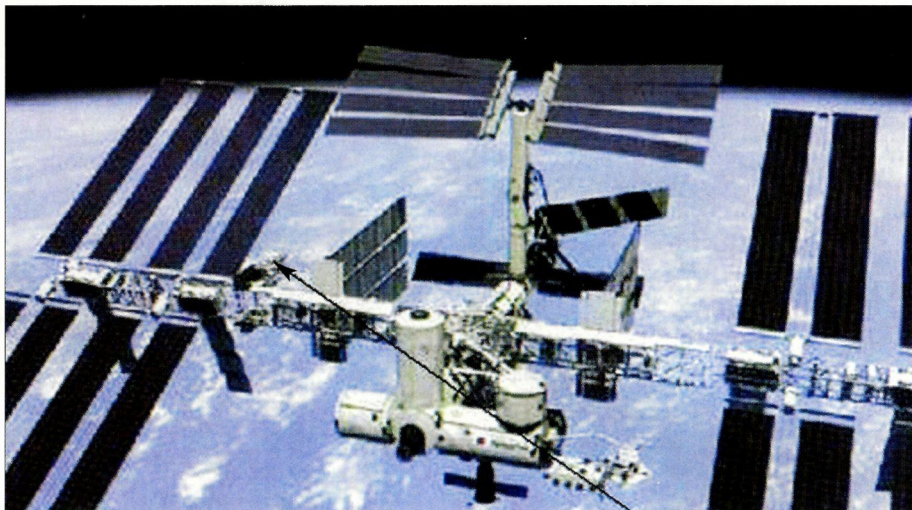
Les deux groupes ont mesuré deux états finals possibles pour la production de quatre pions avec des résultats concordants. L'élégante analyse par le groupe CMD-2 des processus intermédiaires menant à des états finals à quatre pions est également importante. Si dans la production de deux pions chargés et de deux neutres les branches oméga/pion neutre et  $a_1$  (1260)/pion contribuent l'une et l'autre, c'est la seconde qui "sature" l'état final dans le cas où les quatre pions sont chargés.

La forte luminosité permet la mesure de sections efficaces très petites, de l'ordre de 0,5 nb et même moins. Cet aspect est important pour la détermination précise de R. La figure 2 présente une vue générale de la dépendance énergétique des principaux processus qui contribuent à R.

Cependant, VEPP-2M effectue sans doute sa dernière saison. L'Institut Budker a récemment proposé une modernisation du collisionneur avec la mise en œuvre de "faisceaux ronds" ainsi que d'aimants supraconducteurs pour augmenter la luminosité et l'énergie. L'étude technique prévoit un fonctionnement souple dans une large gamme d'énergie, depuis le seuil jusqu'à 2 GeV, avec une luminosité maximale d'environ  $10^{32}$ , suffisante pour accéder aux récurrences des mésons vecteurs qui contribuent de façon dominante à l'incertitude sur les importantes corrections hadroniques.

La construction du nouveau collisionneur ainsi que la rénovation programmée des deux détecteurs devraient débuter en 2000, ce qui explique le nom provisoire de la nouvelle machine – VEPP-2000.

# ACCESS et les rayons cosmiques



L'expérience de rayons cosmiques ACCESS sera montée sur la Station spatiale internationale (ISS).

Le Goddard Space Flight Center de la NASA coordonne les travaux menés par une collaboration internationale sur un instrument pour rayons cosmiques de haute énergie qui serait embarqué dans la station spatiale internationale (ISS). L'expérience avancée sur la composition des rayons cosmiques dans l'ISS (ACCESS), étudiera les noyaux du rayonnement cosmique autour de  $10^{15}$  eV avec l'objectif de mieux comprendre les phénomènes qui dans la galaxie accélèrent les particules à de telles énergies.

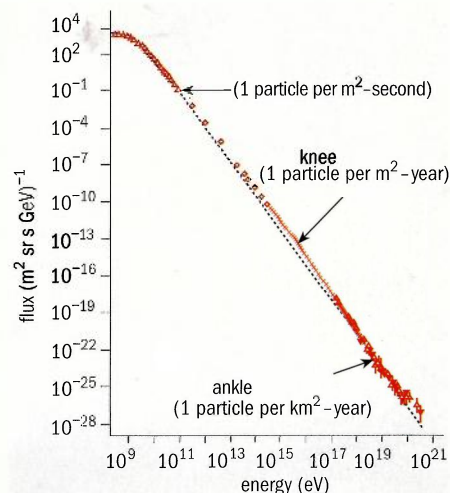
ACCESS complètera les expériences des stations terrestres pour grandes gerbes de l'air et les expériences en ballon. Elle aura l'avantage d'intercepter les rayons cosmiques primaires incidents directement, dans l'espace, plutôt qu'à travers les gerbes de particules secondaires qu'ils produisent en interagissant dans l'atmosphère. En déterminant directement la composition chimique des rayons cosmiques de haute énergie, ACCESS devrait conduire à une meilleure compréhension de l'accélération des particules dans la galaxie. Un vol spatial est prévu en 2006.

Le spectre d'énergie des rayons cosmiques présente une pente remarquablement constante sur de nombreux ordres de grandeurs, avec toutefois deux angulations. La première autour de  $10^{15}$  eV – le "genou" – et la seconde quelque peu en deçà de  $10^{19}$  eV – la "cheville". On s'est beaucoup intéressé aux rayons cosmiques autour de ces deux énergies. Au-dessus de  $5 \times 10^{19}$  eV on ne devrait tout simplement pas trouver de rayons cosmiques. S'ils proviennent d'une source lointaine

leurs interactions avec les photons du fond cosmologique diffus devraient avoir réduit leur énergie et si leur origine est proche il serait surprenant que nous n'ayons pas déjà détecté la source accélératrice. Leur origine reste donc un mystère.

L'étude de ces événements est rendue difficile par leur rareté; au-dessus de  $10^{20}$  eV on en détecte 1 par  $\text{km}^2$  par siècle. Mais autour du genou, région à laquelle s'intéressera essentiellement ACCESS, leur fréquence est un milliard de fois plus élevée et des théories existent quant au mécanisme d'accélération. La théorie la plus en vogue invoque les ondes de choc des supernovas. Elles peuvent accélérer non seulement les particules éjectées durant les explosions d'étoiles mais également toute particule rencontrée au cours de leur expansion dans l'espace.

L'accélération par onde de choc permet d'expliquer le spectre du rayonnement cosmique jusqu'à environ  $10^{14}$  eV, mais il est difficile d'aller plus loin. Deux explications possibles ont été suggérées à l'observation de rayons cosmiques d'énergie plus élevée et ACCESS permettra de les différencier. La première suppose que le modèle des ondes de choc de supernovas est essentiellement correct. Les protons sont ainsi accélérés jusqu'à  $10^{14}$  eV et les éléments plus lourds à des énergies totales plus élevées. Le fer, par exemple, atteint  $3 \times 10^{15}$  eV. On doit alors faire appel à un autre phénomène, inconnu, pour expliquer le spectre aux énergies supérieures, l'angulation de celui-ci étant due à la superposition des deux processus et à la variation progressive de la composition chimique à



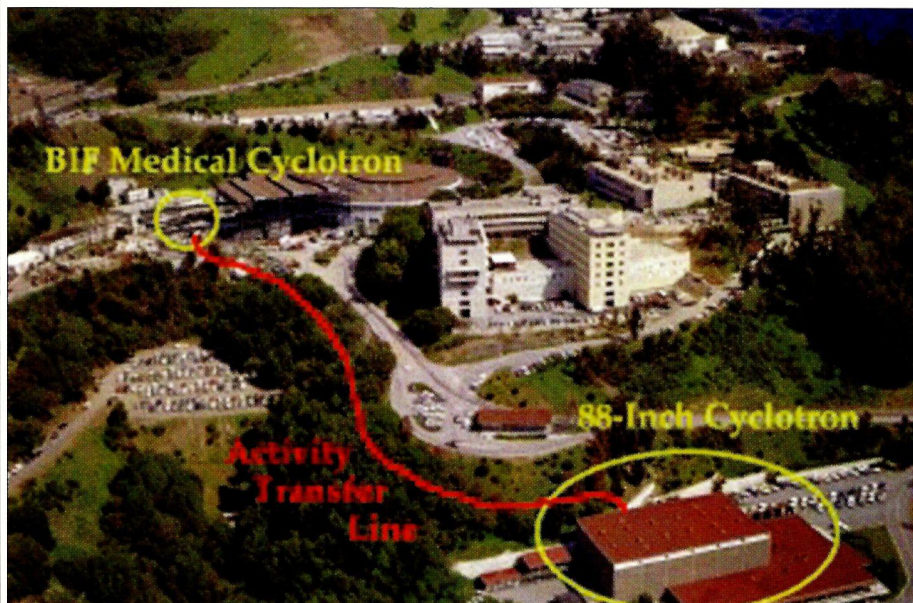
Le spectre d'énergie des rayons cosmiques présente une distribution remarquablement régulière sur plus de 10 ordres de grandeurs. On observe toutefois deux angulations. L'expérience ACCESS est conçue pour étudier le "genou" (vers  $10^{15}$  eV).

l'approche du genou. Les candidats considérés incluent les objets magnétiques compacts en rotation tels que les étoiles à neutrons ou les trous noirs.

La deuxième solution postule un spectre régulier à la production, jusqu'aux énergies les plus élevées des rayons cosmiques, modulé par un phénomène encore inconnu de perte d'énergie qui commencerait à prendre effet autour de  $10^{15}$  eV pour donner l'angulation observée. En mesurant la composition chimique des rayons cosmiques à  $10^{15}$  eV, ACCESS permettra de vérifier la première de ces explications.

L'expérience ACCESS se situe à la croisée de la physique des particules terrestre et de l'astrophysique. Ses détecteurs adoptent les techniques de la physique des particules, mais elles sont poussées à leurs limites par les contraintes de volume et de poids d'une expérience embarquée dans l'espace. L'équipe ACCESS a récemment mis à l'épreuve dans des faisceaux d'essais du CERN certains modèles possibles pour son calorimètre et son détecteur de rayonnement de transition. Les détecteurs définitifs d'ACCESS seront étalonnés dans des faisceaux du CERN avant leur lancement dans l'espace où ils mesureront les rayons cosmiques jusqu'à des énergies plus de 1000 fois supérieures à celles actuellement disponibles dans les accélérateurs.

# BEARS exploite des radioéléments



Le programme d'expérimentation BEARS de Berkeley avec des radioéléments accélérés a fourni son premier faisceau radioactif. Il utilise une ligne de transport d'ions spécialement construite de 300 m de longueur et de 15 cm de diamètre.

Pour comprendre l'univers il est indispensable de savoir comment la force forte lie les nucléons les uns aux autres pour former des noyaux légers et comment les étoiles synthétisent les noyaux lourds. L'étude des noyaux stables et instables permet de mieux connaître la structure nucléaire, les limites de la stabilité nucléaire et la nature des interactions entre protons et neutrons. Les radioéléments produits par accélérateur fourniront une source vitale de ces noyaux appauvris ou enrichis en neutrons.

Le programme BEARS du Laboratoire Lawrence à Berkeley sur les radioéléments accélérés a atteint un objectif important en obtenant son premier faisceau radioactif:  $1-2 \times 10^8$  ions de carbone 11 de 110 MeV ont frappé une cible en or à chaque seconde sur une période de quatre heures, il s'agissait d'étudier la production des isotopes de l'astate. Joseph Cerny, Professeur de chimie à l'Université de Californie et dans la Division des sciences nucléaires du LBNL, dirige le programme BEARS auquel participent d'autres chercheurs de la Division des sciences nucléaires et de la Division des sciences de la vie du LBNL et du Laboratoire national de Brookhaven. Le programme consiste à fournir des faisceaux radioactifs pour des études nucléaires à un coût réduit en utilisant les cyclotrons existants. Les travaux sont centrés sur la méthode des cyclotrons

couplés, on utilise un cyclotron pour produire les radionucléides et un second pour les accélérer.

Le groupe BEARS a commencé par des expériences de vérification du principe avec du carbone 11, d'une vie moyenne de 20 mn, produit dans le cyclotron de 2,24 m de Berkeley en bombardant de l'azote 14 par des protons. Le carbone 11 était combiné à une petite quantité d'oxygène pour former du  $\text{CO}_2$ . Celui-ci était ensuite transporté par un jet de gaz vers un réservoir près de la source d'ions RCE et cryopié à l'aide d'azote liquide, tandis que le gaz porteur était éliminé par pompage. Le piège était alors réchauffé et le carbone 11 servait à alimenter la source RCE en vue de vérifier le rendement d'extraction des ions. Ceux-ci étaient bien extraits, mais avec un rendement un peu faible.

Dans l'étape suivante il s'agissait de produire du carbone 11 dans le cyclotron de l'installation pour isotopes biomédicaux, une machine à protons de 11 MeV et 30  $\mu\text{A}$ . L'utilisation d'une cible à gaz sous haute pression et la plus forte intensité du faisceau ainsi disponible ont permis d'obtenir de meilleurs rendements. Le carbone 11 (sous la forme  $\text{CO}_2$ ) était piégé dans un tube en acier hélicoïdal immergé dans l'azote liquide et envoyé par camion jusqu'au cyclotron de 2,24 m. Ensuite le piège à azote liquide était réchauffé et le carbone 11 pénétrait dans la "source RCE avancée" pour y être

ionisé et extrait sous forme de faisceaux d'ions de charge  $4^+$ , le rendement s'élevait à 10%. Le carbone 11 était alors injecté dans le cyclotron de 2,24 m préalablement accordé à l'aide d'un faisceau de néon 22 de charge  $8^+$ . Une fois l'optique du faisceau réglée à l'aide du néon, il suffisait de décaler la radiofréquence du cyclotron de quelques kilohertz pour amener le carbone 11 à la résonance. Une feuille placée devant un aimant de courbure crucial épluchait complètement les ions de leurs électrons, ce qui permettait de séparer ainsi les contaminants issus de la source RCE. L'intensité typique du faisceau extrait était d'environ  $3 \times 10^7$  ions/s.

Après le succès de ces expériences, la construction d'une ligne de transfert de 300 m a commencé pour relier les deux cyclotrons. Des essais avaient auparavant montré que le temps de transport sur cette distance était de 20 s. Un conduit extérieur rigide de 150 mm a été construit entre les deux cyclotrons à 1 m au-dessus du sol, avec des caissons d'accès tous les 30 m. Puis un tube à vide de 50 mm de diamètre a été installé dans ce conduit et enfin un faisceau de capillaires de diamètres variant entre 3 et 10 mm a été tiré par le tube de 50 mm. On maintient la pression dans le tube de 50 mm à 1 Torr. On surveille l'état du système en y mesurant les pertes de pression, la continuité et les niveaux de rayonnement. Ce système dépasse les strictes exigences de sécurité du Laboratoire. Le groupe BEARS a également travaillé en étroite collaboration avec la Division de l'environnement, de la santé et de la sécurité. L'étroite collaboration de toutes les divisions concernées a été capitale pour le succès du projet.

Une fois la ligne de transport terminée, elle a servi avec succès lors d'une session de mise en service avec du carbone 11, sous forme de  $\text{CO}_2$ , produit dans le cyclotron biomédical et envoyé à intervalles de 5 mn par lots de  $3 \times 10^{13}$  molécules. Arrivé au cyclotron de 2,24 m, le  $\text{CO}_2$  a été capturé dans un piège cryogénique et lentement relâché dans la source RCE avancée à l'aide d'une sou-pape de dosage. L'ensemble du processus est automatisé avec commandes et surveillance par ordinateur. Comme indiqué plus haut, de  $1$  à  $2 \times 10^8$  ions de carbone 11 ont atteint la cible à chaque seconde.

Les projets incluent la mise au point d'autres faisceaux radioactifs à vie courte, dont l'azote 13, l'oxygène 14 et les fluor 17 et 18 pour des expériences en physique et en astrophysique nucléaires.

# Poursuite de la nouvelle physique des mésons



La collaboration CLEO pose devant son détecteur au collisionneur électron-positon de Cornell. CLEO a été remis à neuf plusieurs fois durant ses 20 ans d'existence.

Les 9 et 10 décembre un symposium à l'université Cornell, Ithaca, New York, marquera le 20ème anniversaire de l'anneau de stockage d'électrons, du détecteur de particules CLEO et de la source synchrotron de haute énergie de Cornell. Il annoncera également l'aube d'une nouvelle ère de la physique des mésons B et d'une nouvelle génération de lignes de lumière synchrotron.

Une grande rénovation de l'anneau CESR est en cours avec l'objectif de produire plus de 15 millions de paires de mésons B par an. Simultanément on installe dans CLEO un nouveau détecteur de vertex au silicium, une chambre à dérive et un compteur Chérenkov à focalisation annulaire. La mise en service de l'accélérateur a débuté et la saisie des données devrait commencer début 2000. Les rénovations de CESR et CLEO devraient ouvrir l'accès à des études de la violation de CP et des désintégrations rares des B et à des mesures de précision du mélange des quarks. Cornell est l'un des grands acteurs de cette nouvelle ruée en avant de la physique (*Courrier CERN* octobre p22).

Parallèlement à la remise à neuf de CESR/CLEO, le laboratoire de la source synchrotron de haute énergie de Cornell (CHESS) améliore son optique

rayons X. La construction d'un bâtiment pour abriter trois nouveaux postes de rayons X à très grand flux est en cours.

Ces 20 dernières années, CESR et CLEO ont fourni beaucoup des connaissances mondiales sur la physique des quarks lourds et des leptons. On leur doit des avancées marquantes comme la découverte du méson B (CLEO, CUSB 1979-1980), la première observation des transitions entre les quarks b et u (CLEO, 1990) et la première observation des processus "pingouin" de désintégration (CLEO, 1993). On trouvera d'autres renseignements sur le symposium à l'adresse "<http://www.lns.cornell.edu/symposium.html>".

## Rectificatif

Nous prions nos lecteurs de nous excuser de l'omission du groupe polonais de Lodz dans l'article sur "Inauguration du détecteur de mésons" (*Courrier CERN* octobre p8). Ce groupe est responsable de la construction et de l'entretien du système de surveillance à impulsion lumineuse auquel il a contribué à toutes les étapes du programme CELSIUS/WASA.

IRIS Explorer™

Brings alive your most complex data.



3D  
data  
vision

the power  
to see more  
deeply.

Ask for your free trial copy  
of IRIS Explorer today, quoting  
reference number 799011.

Tel +44 (0)1865 511245

Email [sales@nag.co.uk](mailto:sales@nag.co.uk)

[www.nag.co.uk/iecc](http://www.nag.co.uk/iecc)

**NAG®**

