

ACCELERATEURS

La cryotechnologie pour le futur collisionneur linéaire

Le Comité international pour les futurs accélérateurs (ICFA) s'est rallié à l'utilisation de la technologie supraconductrice pour un futur collisionneur linéaire électron-positon (qu'on appellera désormais le Collisionneur linéaire international) d'énergie comprise entre 0,5 et 1,0 TeV. Par cette décision, l'ICFA s'est rendu unanimement à l'avis du Groupe international de recommandation technologique (ITRP) auquel avait été confié en novembre dernier le mandat d'évaluer deux technologies possibles, communément désignées par les termes de "classique" et "supra", puis de choisir l'une d'elles.

Ces deux technologies, qui ont été mises au point en Amérique, en Asie et en Europe ces dix dernières années, diffèrent essentiellement par leurs structures accélératrices. Dans la version "classique", les cavités accélératrices sont résistives et fonctionnent à la température ambiante, tandis que la technologie "supra" repose sur des cavités supraconductrices opérationnelles à 2 K.

La technologie classique, qui a été développée conjointement par les collaborations pour le prochain collisionneur linéaire (NLC) et le collisionneur linéaire mondial (GLC), fonctionne à une fréquence de 11,4 GHz, dans la "bande X", avec des structures accélératrices en cuivre. Elle nécessiterait un tunnel de 30 km de longueur et un deuxième tunnel parallèle pour abriter les klystrons requis pour produire les champs d'accélération radiofréquence.

À 1,3 GHz, la fréquence d'exploitation des cavités accélératrices pour la technologie supraconductrice, mise au point par la collaboration TESLA, on se situe dans la "bande L". Une telle machine exigerait un tunnel plus long (jusqu'à 40 km). Toutefois, avec le niobium supraconducteur, le transfert de puissance des klystrons d'alimentation aux faisceaux d'électrons et de positons est extrêmement efficace et presque toute la puissance est transmise au faisceau; avec la technologie classique, le rendement énergétique tombe à un tiers.

En novembre de l'année dernière, le Comité directeur pour le collisionneur linéaire international (ILCSC) de l'ICFA a désigné les membres de l'ITRP qui regroupe 12 spécialistes d'Amérique, d'Asie et d'Europe sous la présidence de Barry Barish de l'Institut de technologie de Californie. Le groupe, qui s'est réuni six fois, a ainsi établi une première planification, visité les installations d'essai à DESY, au KEK et au SLAC, pour parvenir, à l'issue d'ultimes délibérations, à une conclusion. Les membres du



Le Groupe international de recommandation technologique. Au premier rang de gauche à droite: Akira Masaike, George Kalmus, Volker Soergel, Barry Barrish, Giorgio Bellettini, Hirotaka Sugawara et Paul Grannis. Au deuxième rang: Gyung-Su Lee, Jean-Eudes Augustin, David Plane (secrétaire), Jonathan Bagger, Norbert Holtkamp et Katsunobu Oide.

groupe ont pratiquement mis leurs activités habituelles entre parenthèses pendant les six mois durant lesquels ils ont interagi de manière intensive les uns avec les autres et avec la communauté internationale des physiciens des particules. Ils ont finalement présenté leur recommandation à l'ICFA et à l'ILCSC lors d'une réunion spéciale à Pékin, le 19 août dernier. L'aval de l'ICFA a été rendu public le jour suivant, à l'occasion de la conférence ICHEP'04 à Pékin (voir p6).

"La technologie classique en bande X comme la technologie supraconductrice conviendraient pour un collisionneur linéaire," a expliqué Barish. "Chacune comporte ses propres avantages et a nécessité de nombreuses années de R&D par des équipes de chercheurs et d'ingénieurs particulièrement talentueux et dévoués. Pour l'heure, emmener ces deux technologies plus avant jusqu'au stade de la construction serait trop onéreux et prendrait trop de temps. La décision ne fut pas simple car les deux technologies étaient bien avancées et nous savions que ce choix aurait des répercussions importantes sur les laboratoires concernés."

Pour parvenir plus facilement à une recommandation, le groupe a mis au point un ensemble de critères d'évaluation, parmi lesquels figuraient les questions de coût et de calendrier ainsi que des aspects techniques et expérimentaux. Finalement, la technologie supraconductrice possédait des atouts qui ont fait pencher la balance

en sa faveur, certains étant liés à sa fréquence plus basse. L'ITRP a toutefois reconnu l'importance des travaux réalisés sur la technologie classique.

Outre le fait que la technologie supraconductrice consomme beaucoup moins d'énergie, le groupe a retenu la grande ouverture des cavités et la longueur de l'intervalle entre les paquets qui simplifient l'exploitation, réduisent la sensibilité aux mouvements du sol, permettent une rétroaction entre les paquets et pourraient autoriser une plus grande intensité des faisceaux. Ils ont également conclu que le linac principal et les systèmes RF étaient moins risqués. La construction du laser à électrons libres à rayons X supraconducteur (XFEL) fournira des prototypes et permettra d'éprouver de nombreux aspects du linac; l'industrialisation de la plupart des grands éléments d'un tel linac est déjà en cours.

Le groupe a tenu à souligner qu'il avait considéré que son mandat consistait à choisir une technologie et non une conception. A présent que l'ICFA a décidé de suivre la recommandation du groupe, la prochaine grande étape va pouvoir être franchie, à savoir développer la conception technique du Collisionneur linéaire international le plus rapidement possible. L'ILCSC a déjà obtenu l'accord que l'Amérique, l'Asie et l'Europe travailleront ensemble dans le cadre d'une équipe centrale et l'on recherche actuellement un directeur et un site pour cette équipe.

CHINE

Des physiciens à Pékin pour ICHEP'04...

La 32e Conférence internationale sur la physique des hautes énergies (ICHEP'04), qui s'est tenue à Pékin du 16 au 22 août, où elle était accueillie par l'Institut de physique des hautes énergies (IPHE) et l'Académie chinoise des sciences (ACS), a connu un vif succès. Au total 737 physiciens ont participé à la conférence, dont les discours d'ouverture ont été prononcés par le directeur de l'IPHE, Chen Hesheng, et le vice-président de l'ACS, Bai Chunli.

Comme il est habituel dans les conférences ICHEP, le programme comprenait des sessions plénières consacrées à des exposés sur les développements dans les grandes questions intéressant la communauté mondiale des physiciens des hautes énergies, et des sessions parallèles avec des exposés sur les résultats scientifiques récents et les projets futurs. Il y a eu 25 exposés dans les sessions plénières et 296 dans les 13 sessions parallèles. Ils couvraient des sujets très divers, comme la physique électrofaible, la chromodynamique quantique, la physique des quarks lourds et charmés, la physique du quark t , la physique des neutrinos, la physique astroparticulaire et la cosmologie, la spectroscopie hadronique, la violation de la charge et de la parité, la matière quarkonique, la recherche de nouvelles particules, ainsi que les futurs accélérateurs et détecteurs.

Les résultats d'expériences avec le Tevatron, les fabriques de particules B, le collisionneur électron-positon de Pékin (BEPC) et le collisionneur d'ions



Une session plénière en plein travail à la Conférence ICHEP'04 d'août à Pékin.

lourds relativistes de Brookhaven, de même que ceux des expériences neutrino avec ou sans accélérateurs, ont également suscité beaucoup d'intérêt. En particulier, les résultats expérimentaux concernant de possibles états pentaquark et leur interprétation théorique ont été largement discutés, et l'opinion majoritaire est, semble-t-il, qu'avant de pouvoir tirer des conclusions il faudra de nouvelles études expérimentales et théoriques. Il a par ailleurs été question des progrès dans la théorie

des cordes, les dimensions supplémentaires, les trous noirs et les calculs de jauge sur réseau.

La conférence a été également l'occasion, pour le président du Comité international pour les futurs accélérateurs Jonathan Dorfan, d'annoncer le 20 août que ce comité avait approuvé la recommandation du Groupe international de recommandation technologique d'adopter la technologie "froide" pour le futur Collisionneur linéaire international (voir p5).

...et un MENU oriental pour un 10ème anniversaire

Un peu plus tard en août, Pékin a accueilli également le dixième symposium international sur la physique méson-nucléon et la structure du nucléon (MENU2004) organisé à l'IPHE du 30 août au 4 septembre. Cette série de réunions est consacrée aux développements expérimentaux et théoriques dans un large éventail de domaines: physique méson-nucléon, spectroscopie baryonique, dibaryons, structure du nucléon, théories des champs efficaces basées sur la symétrie chirale, et autres. Les symposiums précédents s'étaient tenus en Europe ou en Amérique du Nord, mais comme la collaboration BES au collisionneur BEPC a

maintenant fait son entrée dans le "club MENU" du fait de ses récentes études sur la production de N^* par la désintégration de J/ψ , les symposiums MENU se sont déplacés pour la première fois vers l'Extrême-Orient.

MENU2004 a attiré quelque 150 participants de 23 pays du monde entier et donné lieu à une centaine de présentations. La dimension donnée à cette conférence prouve largement que le problème méson-nucléon demeure aussi intéressant et viable qu'il y a 21 ans lors du premier symposium MENU à Karlsruhe en 1983. En 2004, les grands thèmes ont été la recherche de résonances baryoniques manquantes et d'états pentaquark, ainsi que les propriétés des résonances baryoniques. La collaboration LEPS auprès de l'installation japonaise de rayonnement synchrotron Spring-8 a annoncé de nouvelles preuves de l'existence du pentaquark Θ dans son expérience γd , tandis que des résultats

décisifs des données avec des statistiques élevées recueillies au Laboratoire américain Jefferson (Jlab) sont encore attendus. Des expériences au BEPC, au Jlab, avec l'accélérateur-élongateur d'électrons de Bonn, ainsi que dans d'autres laboratoires, ont fait état de nouvelles preuves de l'existence des résonances manquantes N^* .

Un grand nombre de nouveaux développements importants sont attendus dans ce domaine au cours de prochaines années, avec de nouvelles installations au JPARC au Japon et au GSI en Allemagne, des transformations majeures au BEPC et au Jlab, et également à la suite du transfert du détecteur WASA d'Uppsala au synchrotron COSY de Jülich. Pour célébrer le dixième anniversaire de MENU, on avait prévu un très beau concert de musique folklorique chinoise; les participants ont été ravis et attendent un avenir qui s'annonce brillant lors du prochain symposium MENU à Jülich en 2007.

DESY

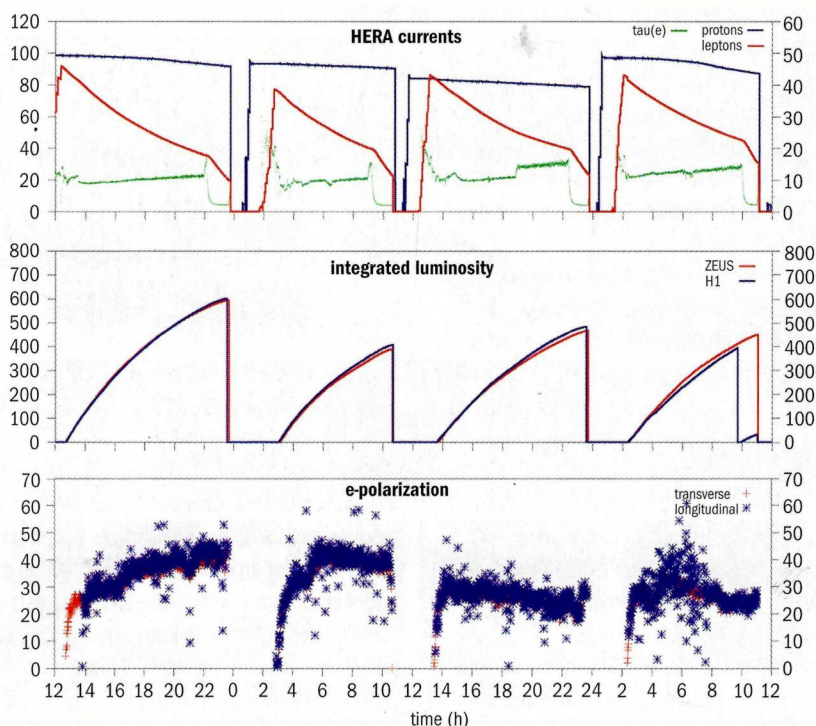
HERA va démontrer tout son potentiel

Lorsque l'anneau de stockage électron-proton HERA de DESY a commencé sa période d'arrêt de l'été à la mi-août, il avait déjà battu plusieurs records. Il avait fourni une luminosité de $3,8 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, supérieure à son précédent record de $2,0 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, avec une luminosité intégrée de 87 pb^{-1} , qui bat le record précédent en 2000, et il était devenu le premier anneau de stockage à fournir des positons de haute énergie polarisés longitudinalement en mode collision de faisceaux.

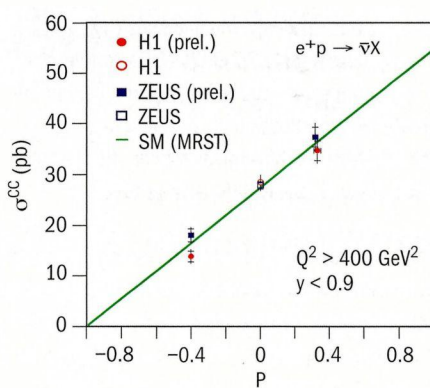
La remise en service réussie de HERA après une très délicate transformation en 2000 et 2001 fut une entreprise longue et difficile. Des bruits de fond d'un niveau inattendu ont empêché les expériences H1 et ZEUS avec le collisionneur de recueillir des données lorsque HERA a été remis en service en 2001. Cela était dû principalement à un échauffement important du tube du faisceau provoqué par les courts paquets de positons et à l'intense rayonnement synchrotron émis par ces particules à proximité des expériences. Il en est résulté une dégradation du vide, et les gerbes de particules produites par l'interaction du faisceau de protons avec le gaz résiduel ont créé ces bruits de fond inacceptables.

Une collaboration étroite entre l'équipe de la machine HERA et les expérimentateurs, avec l'aide de comités consultatifs extérieurs et intérieurs, a permis de cerner, comprendre et résoudre successivement tous les problèmes. Il était nécessaire de modifier sensiblement le système de collimation de faisceau, le système de vide et les détecteurs. Enfin, au début de 2004, les améliorations apportées ont permis à H1 et ZEUS de recueillir des données aux valeurs de courant nominales de HERA (100 mA de protons et 50 mA de positons). Les responsables de la machine HERA ont pu dès lors s'attacher à augmenter régulièrement les valeurs de courant dans HERA et les expérimentateurs à recueillir efficacement les données. Dans le même temps, la polarisation des positons a été améliorée régulièrement et des valeurs supérieures à 50% ont été atteintes. Il reste cependant du travail à faire pour obtenir une polarisation élevée fiable avec des luminosités élevées.

L'ensemble des trois expériences avec HERA – H1 et ZEUS ainsi que l'expérience HERMES avec une cible à gaz polarisée – ont recueilli avec succès des données en 2004, et des résultats ont déjà été présentés à la Conférence internationale sur la physique des hautes énergies ICHEP'04 à Pékin en



Représentation du cycle de la machine HERA montrant ses bonnes performances, avec en haut le courant de protons (en bleu), le courant de positons (en rouge) et la durée de vie des positons (en vert), au centre la luminosité accumulée par les expériences H1 et ZEUS et en bas la polarisation des positons mesurée par les deux polarimètres de HERA.



août (voir p6). On peut citer la première mesure, attendue depuis longtemps, par H1 et ZEUS, de la dépendance de la section efficace des interactions faibles par rapport à la polarisation, et la première détermination au monde, par l'expérience HERMES, de la structure du proton par une mesure du positon diffusé et de l'état hadronique final au moyen d'une cible polarisée transversalement par rapport à la direction du faisceau de positons. Les résultats sont intéressants, mais ils montrent qu'il faudra encore dix fois plus de données environ, recueillies avec

La dépendance de la section efficace des interactions à courant chargé par rapport à la polarisation apparaît dans la mesure montrée ici, qui a été rendue possible par la présence de faisceaux de positons polarisés longitudinalement dans HERA. Le graphique illustre la violation de la parité dans l'interaction faible, dans les collisions lepton-proton aux énergies maximales.

des électrons comme avec des positons, pour exploiter le potentiel scientifique du collisionneur HERA amélioré.

Dans les deux mois d'arrêt de l'été, l'équipe de HERA a continué à améliorer le système de vide, elle a échangé les équipements qui avaient nui à l'efficacité du fonctionnement et elle a procédé aux inspections de sécurité périodiques requises par la législation. Lorsque HERA sera remis en service ce mois (en octobre), le défi consistera à démontrer que la machine et les expériences sont à même de fonctionner et de collecter efficacement des données avec des électrons, comme elles ont maintenant montré qu'elles pouvaient le faire avec des positons.

FAISCEAUX RADIOACTIFS

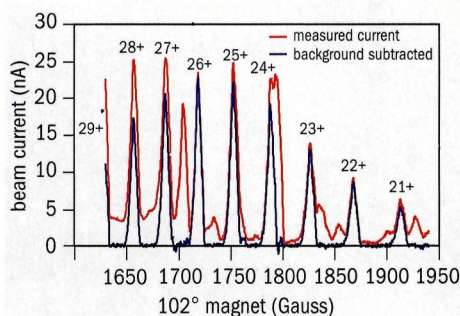
PHOENIX surionise fructueusement à ISOLDE

La surionisation efficace et rapide d'ions monochargés à basse énergie (10–60 keV) représente une avancée capitale pour l'avenir des installations à faisceaux d'ions radioactifs de haute énergie. Récemment, ISOLDE, au CERN, a enregistré une percée majeure avec la première surionisation au moyen d'une source RCE (résonance cyclotron de l'électron).

Deux procédés existent actuellement pour passer des états mono-ionisés ($1+$) à des états multichargés. A ISOLDE, le faisceau $1+$ est refroidi dans un piège de Penning avant d'être injecté dans une source d'ions à faisceau d'électrons (EBIS) où se produit la multi-ionisation. Au Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie (LPSC) de Grenoble (CNRS/IN2P3-UJF-ENSPG), le faisceau $1+$ est capturé directement par le plasma dense d'une source d'ions RCE spéciale, le PHOENIX Booster, qui assure le refroidissement et la multi-ionisation.

Au terme d'un contrat avec l'UE sur la surionisation (HPRI-CT-1999-50003), qui a établi une collaboration de laboratoires européens pour étudier ce sujet important, l'expérience IS397 à ISOLDE a été créée d'un commun accord pour comparer les caractéristiques des deux techniques. Le concept du PHOENIX Booster a déjà été retenu pour deux futures installations, ISACII à TRIUMF, à Canada, et SPIRALII au GANIL à France.

La surionisation d'ions stables à l'aide d'une source d'ions RCE (ECRIS) a été conçue, étudiée et améliorée au LPSC durant ces 10 dernières années. MINIMAFIOS a été la première source ECRIS utilisée par Richard Geller, et, depuis 2000, Pascal Sortais et Thierry Lamy mettent au point une source spéciale, le



Spectre mesuré pour les ions $^{238}\text{U}^{n+}$ extraits dans l'expérience IS397.

PHOENIX Booster, et son optique d'injection. Pour les faisceaux primaires, plus de 20 éléments ont été produits par diverses sources d'ions (à thermo-ionisation, décharge lumineuse et RCE). Les paramètres mesurés sont le rendement, le délai de surionisation et éventuellement, pour les modes pulsés, le temps durant lequel les ions multichargés restent piégés dans le dispositif.

L'expérience IS397 mise en place à ISOLDE reproduit l'expérience du LPSC pour assurer une exploitation entièrement comparable. Le Laboratoire Daresbury du CLRC a mis sa source PHOENIX, avec toutes ses alimentations électriques, à la disposition de la collaboration; l'aimant d'analyse des faisceaux multi-ionisés ($n+$) provient du banc d'essai du LPSC et ISOLDE a fourni le détecteur. Plusieurs autres instituts ont également apporté une contribution en équipements: l'université-Ludwig-Maximilian a livré une double lentille d'Einzel et le GSI des alimentations.

Dans cette expérience, un faisceau de $^{238}\text{U}^+$ de 50 nA provenant de la cible de REX-ISOLDE a été injecté dans la source PHOENIX. Le spectre extrait (voir figure) montre que le rendement est de 2% pour l'état $^{238}\text{U}^{26+}$. Les états $^{96}\text{Sr}^{15+}$ et $^{94}\text{Rb}^{15+}$ ont également été produits, ainsi que des ions stables et radioactifs de plusieurs gaz rares: l'argon, le xénon et le krypton.

Les avantages de cette technique sont la simplicité de la technologie, la rapidité de réglage du système et sa fiabilité. Il est à noter que, pour le développement futur d'accélérateurs de haute intensité, le courant du faisceau primaire $1+$ admissible n'est pas limité, cela en raison de la densité élevée du plasma RCE qui varie comme le carré de la radiofréquence utilisée pour produire le plasma ionisant. Actuellement, cette radiofréquence est de 14 GHz, ce qui donne une densité de quelque 10^{12} ions par cm^3 , mais la méthode RCE trouve ses limites dans la surionisation des éléments légers comme le lithium, le sodium et le néon, car elle est moins efficace que le couple piège de Penning-EBIS. Cependant, l'un des buts de l'expérience IS397 est de déterminer dans quel contexte chaque technique convient le mieux.

● La collaboration sur la surionisation regroupe l'université Ludwig-Maximilian de Munich (Allemagne), le LPSC de Grenoble (France), le Laboratoire Daresbury du CLRC (Royaume-Uni), ISOLDE et le CERN (Suisse), le GANIL de Caen (France), l'INFN de L'égnaire (Italie), la Kungliga Tekniska Högskolan de Stockholm (Suède) et l'université de Jyväskylä (Finlande).

ANTIMATIÈRE

La vitesse de l'antihydrogène ATRAP-ée

La collaboration ATRAP au CERN a effectué la première mesure de la vitesse d'atomes d'antihydrogène lents. Il s'agit d'une étape importante vers la production d'atomes d'antihydrogène suffisamment froids – donc lents – pour la spectroscopie de précision.

Les collaborations ATRAP et ATHENA auprès du Décélérateur d'antiprotons du CERN ont toutes les deux annoncé en 2002 la production de grandes quantités d'atomes d'antihydrogène "froids" (Courrier CERN novembre 2002 p5; décembre 2002 p5). Ces atomes étaient certainement bien plus

froids que ceux observés au CERN pour la première fois en 1995, mais leur énergie réelle était inconnue. La collaboration ATRAP a récemment démontré une technique permettant de déterminer la vitesse des atomes d'antihydrogène qui traversent un champ électrique oscillant sans être ionisés.

Dans cette expérience, des atomes d'antihydrogène se forment dans un piège de Penning imbriqué, puis traversent un champ électrique avant d'être détectés; seuls sont détectés les atomes qui ne sont pas ionisés dans ce champ. La mesure de la vitesse de ces atomes s'effectue en observant la variation du nombre d'atomes détectés en fonction de la fréquence d'un champ oscillant superposé à un champ statique. Les atomes les plus lents seront ionisés et n'atteindront jamais le détecteur tandis que, selon la phase du champ qu'ils

rencontrent, les plus rapides traverseront ou non le détecteur sans être affectés; quand la fréquence du champ oscillant augmente, moins d'atomes sont assez rapides pour échapper à l'ionisation. L'équipe de l'expérience a découvert que les atomes les plus faiblement liés qui parviennent jusqu'au détecteur ont une énergie de 200 meV, soit une vingtaine de fois la vitesse thermique moyenne à 4,2 K (Gabrielse *et al.* 2004). La vitesse d'états plus fortement liés, qui pourraient donc être plus lents, pourrait être mesurée grâce à la même méthode avec un champ statique plus intense, mais cela demanderait plus de temps.

Références

G Gabrielse *et al.* 2004 *Phys. Rev. Letts.* **93** 073401.



**Happy
Birthday
CERN**
and many Thanks
for more than
two Decades
of Excellent Partnership

RF Cavities, Modules and Couplers
Superconducting Magnet Systems
Linear and Circular Accelerators
Proton/Ion Therapy Systems
Synchrotron-Beamlines
X-Ray Systems, Insertion Devices
RF Supply and Control Systems
Specialised Manufacturing Projects
Special UHV Equipment

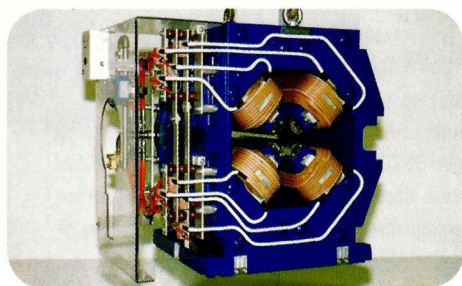
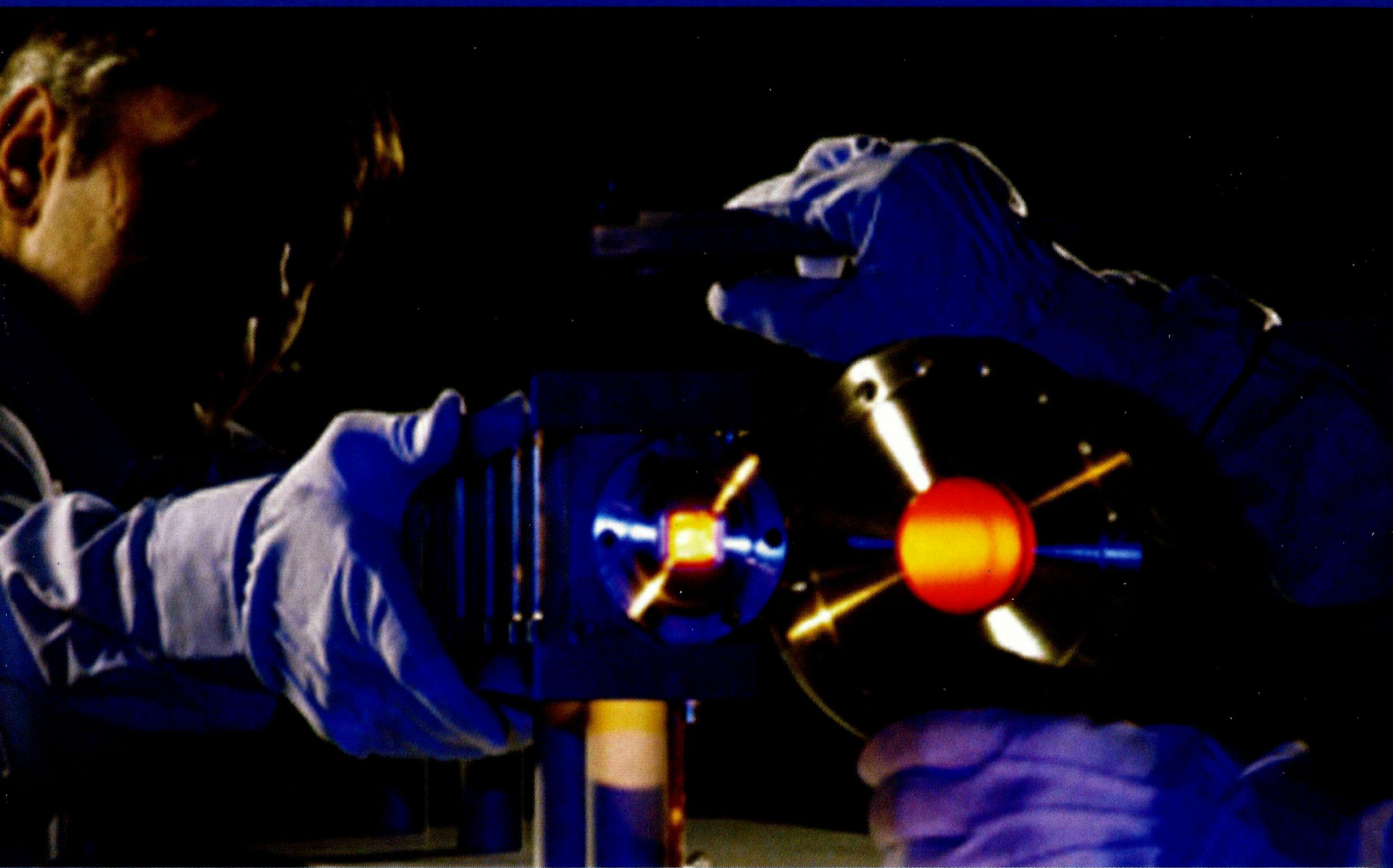
ACCEL



**Advanced Technology Equipment and Turn-Key System Supplier
for Research, Industry and Medical worldwide**

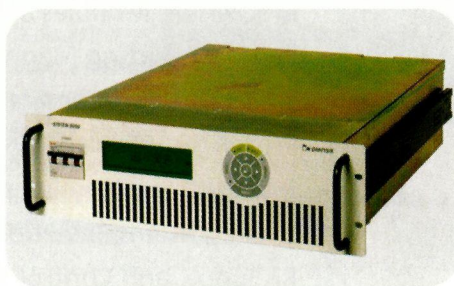
www.accel.de

All you need...



Physics

Magnets
Particle accelerators
Synchrotrons
Ion sources
Electrostatics
Beamlines



Power Converters

Standard
Custom designed
Shim amplifiers



Transducers

Onboard electronics
Rack type
Multichannel

Check out our
new website
www.danfysik.com

 **DANFYSIK**

Møllehaven 31 • DK-4040 Jyllinge • Denmark
Tel. +45 4679 0000 • Fax +45 4679 0001
sales@danfysik.dk • www.danfysik.com