

CERN

La caverne de CMS est prête pour son détecteur

Le 1er février 2005, la caverne du détecteur CMS au CERN a été inaugurée au cours d'une cérémonie à laquelle ont pris part de nombreux invités, dont les ambassadeurs d'Espagne et d'Italie auprès des Nations-Unies et des représentants des sociétés de construction.

La livraison de cette caverne, une gigantesque structure située 100 m sous le village de Cessy, en France, marque la fin des travaux de génie civil à grande échelle pour le Grand collisionneur de hadrons LHC au CERN.

Cette seconde nouvelle caverne destinée aux expériences LHC est le fruit de nombreuses années de travail par un groupement de sociétés de génie civil d'Italie, Espagne, Grande-Bretagne, Autriche et Suisse. Compte tenu de la géologie locale, sa réalisation constitue un véritable exploit technique.

Les nouveaux ouvrages réalisés pour CMS comprennent en fait deux cavernes et deux puits d'accès, pour lesquels on a dû extraire 250 000 m³ de déblais. La caverne destinée au détecteur mesure 53 m sur 27 m et elle est haute de 24 m. La seconde caverne, abritera les services techniques. Contrairement au cas du détecteur ATLAS, les divers éléments du détecteur CMS sont d'abord assemblés et testés dans un bâtiment de surface avant leur descente dans la caverne, prévue à partir de janvier 2006.

Les travaux avaient débuté il y a six ans et demi avec l'excavation des deux puits d'accès. La tâche ne fut pas aisée car ils devaient traverser une couche extrêmement instable de moraine, de



La gigantesque caverne pour le détecteur CMS, 100 m sous le village de Cessy en France.

près de 50 m, parcourue par deux nappes phréatiques. Pour creuser un terrain aussi meuble et humide on a eu recours à la technique de la congélation des sols consistant à faire d'abord circuler de la saumure à -23 °C avant de passer à l'azote liquide. Une autre difficulté venait de la roche entre les deux cavernes, une molasse trop faible pour résister à des contraintes élevées, et il a fallu la remplacer par un monumental pilier en béton armé.

Pour limiter l'impact du projet sur l'environnement, une attention particulière a été portée au traitement des eaux, à la limitation des poussières et des nuisances sonores par les travaux. Par ailleurs, les tonnes de déblais ont été intégralement déposées au voisinage immédiat du site afin d'éviter le bruit et les perturbations à la circulation dans les villages voisins. Les zones de dépôt sont en cours de profilage paysager et on y plantera de la végétation d'ici à juin 2005.

L'ANNEE MONDIALE DE LA PHYSIQUE A PARIS

Décollage d'une année de célébrations

Plus de 1000 participants, dont huit lauréats du prix Nobel et près de 500 étudiants de 70 pays, ont pris part le 13 janvier à la conférence "la physique pour demain" au siège de l'UNESCO (Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture) à Paris. Cette manifestation marquait le lancement officiel de l'année internationale de la physique proclamée par l'ONU et dont l'objectif est de souligner l'importance de la physique et de ses contributions à la société.

La conférence était organisée par l'UNESCO, l'agence-pilote de l'ONU pour l'année internatio-



Robert Aymar, directeur général du CERN, à l'inauguration de l'année de la physique.

nale, avec d'autres organisations, dont le CNRS et le CEA en France et le CERN. La création du CERN lui-même s'est faite sous les auspices de l'UNESCO qui fait partie des organisations ayant le statut d'Observateur au Conseil du CERN, et il était

donc approprié que Carlo Rubbia et Georges Charpak, lauréats du prix Nobel attachés au CERN, figurent parmi les orateurs invités aux côtés du directeur général Robert Aymar.

À la cérémonie d'ouverture, Aymar a souligné les rôles cruciaux que joue la physique comme moteur de l'innovation, mais aussi en attirant et en formant les jeunes les plus talentueux, ainsi qu'en nouant des partenariats entre les nations. Rubbia a participé à la table ronde sur "les réponses possibles de la physique aux défis socio-économiques du 21ème siècle" et Charpak s'est exprimé sur l'enseignement et la formation en physique.

● Cette manifestation a inauguré une série d'événements prévus à travers le monde en 2005 pour célébrer la physique et souligner son rôle. On trouvera d'autres renseignements sur www.wyp2005.org.

RAYONS COSMIQUES

Recherche d'antiparticules cosmiques en ballon au-dessus de l'Antarctique

La collaboration Etats-Unis – Japon BESS (acronyme anglais pour expérience en ballon avec spectromètre supraconducteur) a lancé un spectromètre pour rayons cosmiques depuis l'Antarctique le 13 décembre. Le groupe étudie les rayons cosmiques depuis 1993 en effectuant des vols en ballon au-dessus du Canada septentrional, mais il s'agissait cette fois du premier vol en Antarctique avec un instrument totalement nouveau.

Le détecteur de 2000 kg a été emporté par un ballon de 1 000 000 m³ depuis Williams Field, près de la station de McMurdo (Etats-Unis). Il a volé entre 37 et 39 km d'altitude pendant huit jours et 17 heures. Le NSBF (National Scientific Balloon Facility) a procédé au lancement dans le cadre du programme Antarctique des Etats-Unis, soutenu par la NASA et par la National Science Foundation (NSF).

Avec ce nouveau détecteur, le groupe BESS poursuit son étude systématique des antiprotons de basse énergie dans le rayonnement cosmique. Ces particules rares constituent une sonde sans pareille pour comprendre les phénomènes liés aux particules élémentaires dans l'univers primitif.

La plupart des antiprotons cosmiques proviennent de collisions des noyaux cosmiques primaires avec le gaz interstellaire. Cependant, si BESS mesure un excès d'antiprotons de basse énergie s'ajoutant à ceux des processus bien connus, cette observation pourrait apporter une preuve que certains d'entre eux ont eu pour première origine des processus tels que l'évaporation de trous noirs primordiaux ou la désintégration de certaines formes de matière noire.

BESS a détecté plus de 2000 antiprotons de basse énergie au cours de huit vols au nord du Canada ces 11 dernières années. La plupart des antiprotons mesurés par BESS sont clairement des secondaires de rayons cosmiques primaires. Cependant, les données recueillies au cours du dernier minimum du cycle solaire (qui s'est produit en 1996) suggèrent que le spectre à basse énergie serait plus plat que prévu, ouvrant ainsi la possibilité passionnante de nouvelles origines pour les antiprotons cosmiques.

Le groupe BESS recherche également de l'antihélium dans le rayonnement cosmique. Sa



Gonflement du ballon avant le lancement du spectromètre BESS-Polar. On voit au premier plan le détecteur avec ses cellules solaires. Le ballon est monté à 37–39 km.

détection aurait une signification très profonde aussi bien pour la cosmologie que pour la physique des particules. Contrairement aux antiprotons, la probabilité de création d'antihélium par les rayons cosmiques est infinitésimale. De plus, notre interprétation actuelle repose sur une asymétrie baryonique de l'univers, avec une prépondérance écrasante de la matière sur l'antimatière, et soutient qu'il n'existe pas d'étoiles ou de galaxies formées d'antimatière. La découverte d'un seul événement antihélium changerait ce point de vue.

L'analyse des données de BESS n'a mis en évidence aucun antihélium, alors que 7 millions de noyaux d'hélium ont été observés; c'est la limite supérieure la plus stricte quant à l'existence d'antihélium et elle conforte l'asymétrie baryonique.

En 2001 le groupe BESS a lancé un projet d'amélioration de la statistique et d'abaissement du seuil d'énergie de son détecteur. Ils ont mis au point un nouvel instrument en amincissant le solénoïde supraconducteur et le détecteur et en supprimant l'enceinte de pressurisation extérieure.

Ils ont également amélioré considérablement la durabilité du fluide cryogénique du nouvel aimant, tandis qu'aux latitudes polaires un nouveau système d'alimentation solaire décuple la durée de vol par rapport aux valeurs typiques antérieures d'une journée obtenues au Canada.

Pendant le vol BESS-Polar de 2004, une batterie de disques durs embarqués a enregistré les données de quelque 900 millions de rayons cosmiques, représentant un total d'environ 2 téraoctets. A l'issue du vol circumpolaire, BESS-Polar est descendu par parachute jusqu'à un site d'atterrissage sur la mer (gelée) de Ross à environ 900 km de son point de lancement. Une équipe de récupération a effectué plusieurs vols successifs fructueux depuis le camp avancé de Siple Dome jusqu'au point de chute qui ont permis de retrouver les disques de données et le reste de l'instrument et de la charge.

● BESS est une collaboration comprenant le KEK, le Goddard Space Flight Center de la NASA, l'université de Tokyo, université de Kobe, l'agence spatiale japonaise JAXA et l'université du Maryland.

ASTROPHYSIQUE DES PARTICULES

CAST entre en action

La collaboration CAST (CERN Axion Solar Telescope) a publié les premiers résultats de sa recherche des axions solaires, lesquels constituent des prétendants viables au titre de particules de matière noire. Le résultat de la première année d'exploitation de CAST, annoncé dans *Physical Review Letters*, ne prouve pas l'existence de l'axion mais il réduit le champ de liberté de cette particule insaisissable.

Les théoriciens ont inventé les axions il y a plus de 25 ans pour tenter d'expliquer l'absence de violation de la symétrie CP (charge-parité) dans l'interaction forte. Ces particules neutres, très légères (10^{-5} – 10 eV/c²), interagissent tellement faiblement avec la matière ordinaire qu'elles auraient pu survivre jusqu'à maintenant depuis leur apparition au tout début de l'univers et ainsi contribuer à la mystérieuse matière noire. Cependant, ils pourraient tout aussi bien être créés aujourd'hui, par exemple au voisinage du champ électrique puissant des charges électriques présentes dans le plasma chaud du cœur du Soleil, où les rayons X thermiques pourraient se convertir efficacement en axions. Les axions ainsi produits s'échapperaient librement et arriveraient sur la Terre en plus grand nombre que les neutrinos solaires.

CAST, qui est actuellement le seul "hélioscope à axions" en exploitation, est un aimant supraconducteur d'essai pour le Grand collisionneur de hadrons LHC qui a été remanié et équipé de détecteurs de rayons X, et aussi d'un système de miroirs pour rayons X récupéré du programme spatial allemand (*Courrier CERN* avril 2001 p6). L'induction magnétique de 9 T peut convertir les axions solaires traversant CAST en rayons X et cela avec le meilleur rendement disponible à ce jour



L'hélioscope à axions CAST, construit à partir d'un aimant d'essai du LHC, pointe vers le Soleil chaque jour à l'aube et au crépuscule.

pour un tel instrument.

Les premiers résultats de CAST donnent pour la constante de couplage axion – photon une valeur $g_{\text{a}\gamma\gamma} < 1,16 \times 10^{-10} \text{ GeV}^{-1}$, cela pour une masse de l'axion inférieure à 0,02 eV (Zioutas *et al.* 2004). Cette nouvelle limite est cinq fois plus basse que les meilleures mesures précédentes en laboratoire, celles de l'expérience avec hélioscope à axions de Tokyo (Moriyama *et al.* 1998). Cependant, le nouveau résultat de CAST est simplement comparable, dans la gamme de masses étudiées, à la meilleure limite dérivée de considérations sur la perte d'énergie stellaire. Par ailleurs, contrairement aux déductions inspirées de l'âge du Soleil, il exclut une partie importante de l'espace des paramètres et permet ainsi un couplage axion–photon quelque peu plus élevé

que la limite de Tokyo.

Jusqu'à présent CAST a couvert la partie inférieure de la gamme des masses propres de l'axion, $m_a < 0,02 \text{ eV}/c^2$. Le groupe modifie actuellement son télescope en remplissant les deux entrefers de l'aimant d'hélium gazeux, ainsi les photons X et les axions resteront en phase sur toute la longueur de l'aimant, soit 9,26 m. Cela permettra de rechercher des axions de masse plus élevée et de couvrir davantage de la gamme attendue d'après la théorie, et non exclue par les observations astrophysiques et cosmologiques.

Référence

K Zioutas *et al.* 2004 <http://arxiv.org/pdf/hep-ex/0411033>.

S Moriyama *et al.* 1998 *Phys. Lett.* **B434** 147.

DESY

Plusieurs pays s'engagent pour le XFEL

Un pas important vient d'être franchi vers la réalisation de l'installation européenne XFEL, un laser à électrons libres à rayons X. L'Allemagne, l'Espagne, la France, la Grande-Bretagne, la Grèce, l'Italie, la Pologne, la Suède et la Suisse ont signé un protocole d'accord par lequel ils s'engagent à préparer une convention gouvernementale sur la construction et l'exploitation de l'installation de

recherche européenne XFEL d'ici à la mi-2006. Le Danemark signera également bientôt ce document. Avec la Hongrie, les Pays-Bas, la Russie, la Slovaquie et l'Union Européenne, qui ont le statut d'observateurs, les pays signataires forment un comité directeur international qui coordonne les préparatifs de la construction du XFEL.

A la suite d'une recommandation du Conseil de la science allemand, le gouvernement fédéral a donné le feu vert en février 2003 au XFEL en tant que projet européen commun implanté au laboratoire DESY de Hambourg (*Courrier CERN* novembre 2003 p21). La mise en service de cette installation

de recherche, sans équivalent en Europe, doit débuter en 2012. Son coût s'élèvera à 900 M€ et le financement sera assuré conjointement par l'Allemagne et les pays partenaires.

Le protocole d'accord inclut l'élaboration de propositions pour établir un calendrier détaillé et les moyens de financement, la future structure de l'organisation, la conception technique détaillée et les modalités d'exploitation du laser à rayons X. Le XFEL, avec ses impulsions X ultra-courtes, de type laser, ouvrira des possibilités totalement inédites dans une vaste gamme de recherches, des études géologiques à la nanotechnologie.

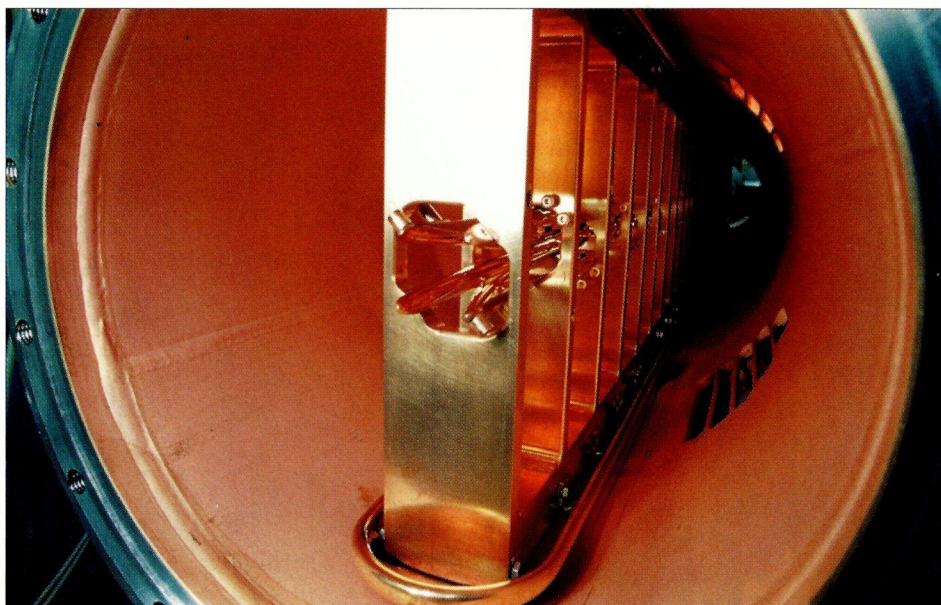
ANTIPROTONS

L'AD du CERN stocke un nombre record d'antiprotons

Une nouvelle technique de refroidissement des antiprotons a été expérimentée au décélérateur d'antiprotons (AD) du CERN, elle a fourni 50 fois plus d'antiprotons piégés par cycle que jamais auparavant. Le stockage et le refroidissement de grands échantillons d'antiprotons est un pas important vers la réalisation des objectifs expérimentaux visés à l'AD, lesquels demandent la synthèse d'atomes exotiques tels que l'antihydrogène ($\bar{p}e^+$) et le protonium ($p\bar{p}$).

Les atomes, exotiques y compris, ne peuvent être efficacement synthétisés qu'aux échelles d'énergie de la chimie (quelques électron-volts ou moins), soit de nombreux ordres de grandeur en-dessous des énergies nécessaires pour la production d'antiprotons à l'aide d'un accélérateur (quelques gigaélectronvolts). L'AD réduit ce fossé en décélérant à une énergie de 5,3 MeV les antiprotons de 3 GeV engendrés quand un faisceau de protons du synchrotron à protons PS frappe une cible en iridium. Cette valeur est toutefois encore trop élevée pour les pièges électromagnétiques qui ne peuvent les capturer que vers 10 keV. Auparavant, on utilisait des feuilles de ralentisseur pour décélérer encore plus les antiprotons, mais l'efficacité d'un tel système est faible, car de nombreux antiprotons s'arrêtent et s'annihilent à l'intérieur des feuilles. En effet, sur les 3×10^7 antiprotons éjectés toutes les deux minutes au cours d'une impulsion de 90 ns de l'AD, quelque 25 000 seulement subsistaient.

Depuis, une équipe de l'expérience ASACUSA et du CERN a remplacé ces feuilles par un quadripôle radiofréquence décélérateur (QRFD). Ce dispositif



Le quadripôle radiofréquence décélérateur d'ASACUSA, ouvert sur la photo, avec sa structure centrale à quatre électrodes qui traverse les 35 cavités résonantes délimitées par les plaques verticales.

de 4 m de longueur peut décélérer les antiprotons jusqu'à seulement 10 à 120 keV. Au cours des essais, les antiprotons sortant du QRFD passaient dans un piège usuel multi-anneaux, comme ils le faisaient lors des travaux antérieurs avec des feuilles de ralentisseur. Le piège est rempli d'un gaz d'électrons qui aide au refroidissement des antiprotons par échange thermique, tandis que le gaz d'électrons dissipe son énergie en émettant un rayonnement synchrotron.

Au cours des essais, on a pu stocker environ $1,2 \times 10^6$ antiprotons par impulsion de l'AD dans le piège multiple pour des périodes de 10 min ou plus. C'est 50 fois plus que les meilleures valeurs obtenues précédemment avec des ralentisseurs et cela correspond à un rendement de piégeage des antiprotons d'environ 4%.

Référence

N Kuroda *et al.* 2005 *Phys. Rev. Lett.* **94** 023401.

ATRAP expérimente sur la production d'antihydrogène

L'un des objectifs des futures études sur l'antihydrogène sera de comparer sa spectroscopie avec celle de l'hydrogène. Il faudra pour cela piéger les atomes d'antihydrogène suffisamment longtemps pour effectuer des mesures de précision, lesquelles à leur tour demanderont des températures très basses de l'antihydrogène, bien en-dessous de 0,5 K. La collaboration ATRAP à l'AD expérimente donc une nouvelle façon de produire de l'antihydrogène qui pourrait le fournir aux basses températures convenables.

Jusqu'à maintenant la production d'antihydrogène s'est faite en rassemblant des antiprotons refroidis et des positons dans une structure de pièges de Penning imbriqués (*Courrier CERN*

novembre 2002 p5 et décembre 2002 p5). La nouvelle méthode consiste à exciter des atomes de césium dans un four à l'aide de deux lasers, puis à introduire le césium dans un piège à positons. Il se forme alors des positoniums excités – un état lié d'un électron et d'un positon – lorsqu'un positon entre en collision avec un atome de césium et capture l'un de ses électrons. Ces atomes de positonium emportent la quasi totalité de la dizaine de meV de l'énergie de liaison des atomes de césium. Enfin, certains des positoniums excités entrent en collision avec les antiprotons piégés et créent des atomes antihydrogène excités avec une probabilité qui devrait être beaucoup plus élevée que si le positonium est dans l'état fondamental.

La distribution de vitesse obtenue pour l'antihydrogène excité devrait être la même que celle des antiprotons piégés à partir desquels il se forme et on peut donc en principe l'abaisser sans limite. La vérification de cette hypothèse par une mesure directe de la vitesse de l'antihydrogène n'a pas encore été possible, mais si la faiblesse de l'énergie de l'antihydrogène est confirmée et si les états fortement excités peuvent être désexcités, cette méthode pourrait devenir la meilleure pour produire de l'antihydrogène froid en vue d'analyses spectroscopiques de précision.

Référence

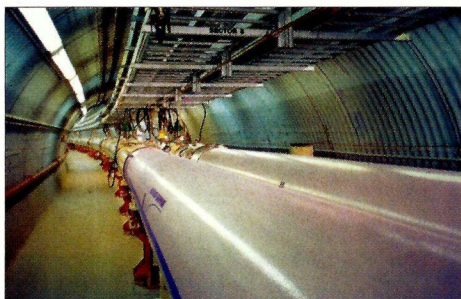
C H Story *et al.* 2004 *Phys. Rev. Lett.* **93** 263401.

IONS LOURDS

Cuivre contre cuivre
au RHIC

Les collisions de faisceaux d'ions cuivre viennent de débiter au collisionneur d'ions lourds relativistes RHIC du laboratoire national de Brookhaven aux Etats-Unis. Le RHIC, formé en fait de deux anneaux concentriques, de 4 km de circonférence, a été construit pour produire des collisions entre des ions lourds, en particulier des ions d'or. L'utilisation de noyaux de cuivre – de taille intermédiaire et donnant de moindres densités d'énergie que celles des périodes initiales avec l'or, mais supérieures à celles des collisions de l'or avec le deuton, beaucoup plus léger – est importante pour comprendre les nouveaux phénomènes observés dans les collisions d'ions lourds.

On avait prévu que l'énergie des collisions or-or serait suffisante pour "dissoudre" les protons et les neutrons en produisant une "soupe" chaude de quarks et de gluons libres – le plasma de quarks et de gluons. Jusqu'à présent, les collisions or-or au RHIC ont produit quelques résultats très troublants qui indiquent la présence d'une nouvelle forme de



Les accélérateurs jumeaux du RHIC produisent maintenant des collisions cuivre-cuivre.

la matière – plus chaude et dense que n'importe quoi d'autre produit auparavant dans un laboratoire. Cependant, si certaines des observations s'accordent avec les prévisions pour un plasma quark-gluon, d'autres s'en éloignent (*Courrier CERN* avril 2004 p25).

La question de savoir si la matière dense chaude créée au RHIC est effectivement le plasma quark-gluon postulé, ou peut-être quelque chose d'encore plus intéressant, a donc fait l'objet de débats considérables. Les données déjà disponibles montrent que dans cette nouvelle forme de la matière les quarks semblent interagir très fortement les uns avec les autres et avec les gluons environnants, au lieu de se propager librement dans la "soupe" comme le prédit la théorie du plasma quark-gluon. De nombreux physiciens commencent

à utiliser le terme "plasma quark-gluon en interaction forte" pour caractériser cette interprétation.

Les collisions deuton-or ne présentent pas les mêmes caractéristiques, ce qui suggère que les observations des collisions or-or ne correspondent pas une propriété intrinsèque des ions or eux-mêmes, mais sont dues à l'état créé dans les

collisions. Les expériences avec le cuivre fourniront une nouvelle vérification qui aidera à comprendre comment et dans quelles conditions les nouveaux phénomènes observés interviennent ou pas.

La période cuivre-cuivre devrait durer environ 10 semaines, mais cela dépendra du financement pour l'année fiscale 2005.

MEGA INDUSTRIES, LLC

High Power RF Specialists with over 25 years experience
Waveguide sizes from WR90 through WR6200
Coaxial components from 7/8" through 14"
Power ranges from 1 watt through 6 Megawatts

**A Trusted Name in Microwave Technology,
Mega Industries, LLC is a World Leader in the
Manufacture of Microwave Transmission
Equipment**



**For Mega Savings, versatility,
performance and quality RF
components, call Mega today!**

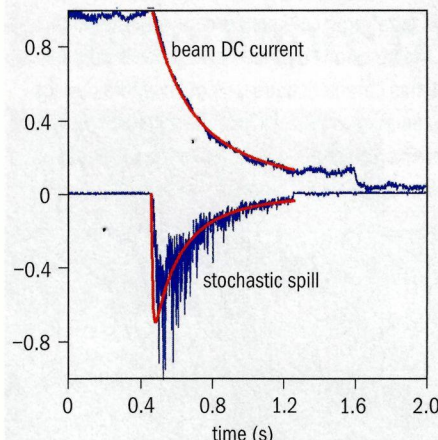
28 Sanford Drive, Gorham, ME 04038 USA Telephone: 207-854-1700 Fax: 207-854-2287
E-Mail: sales@megaind.com Web Site: www.megaind.com

ACCELERATEURS

Extraction stochastique à l'essai pour U70

Des essais d'une extraction stochastique lente (SES) avancée ont été effectués avec succès au U70, le synchrotron à protons de 70 GeV de l'institut de physique des hautes énergies (IPHE) de Protvino dans la région de Moscou. Détenteur à la fin des années 60 du record d'énergie des accélérateurs, le U70 fonctionne toujours aujourd'hui et les tests de faisabilité de novembre et décembre 2004 pourraient offrir une intéressante option pour de futurs faisceaux.

L'idée de l'extraction SES a été lancée en 1978 par Simon van der Meer au CERN dans la foulée de ses travaux sur le refroidissement stochastique qui avaient conduit à la conversion du supersynchrotron à protons SPS du CERN en un collisionneur proton-antiproton et, pour van der Meer lui-même, au prix Nobel de physique de 1984. Cette technique, qui donne des déversements longs et uniformes, a été utilisée plus tard avec succès au CERN dans



L'enregistrement du faisceau et de l'intensité du déversement (courbes en bleu) avec les fonctions ajustées (lignes rouges) pour les essais de l'extraction stochastique dans l'U70.

l'anneau d'antiprotons de basse énergie LEAR, où elle a permis des extractions de plusieurs heures.

L'extraction stochastique est une modification de l'extraction résonante dans laquelle on déplace les

particules vers la résonance d'extraction au moyen d'impulsions aléatoires données par un système RF bruité. Elle présente l'avantage d'être exempte des inévitables ondulations de l'optique magnétique qui détériorent le déversement durant l'extraction résonante. Cela pourrait s'avérer particulièrement utile dans une machine aussi vénérable que le U70.

Les essais de la méthode SES ont été menés sur un plateau d'éjection à 60 GeV de l'U70, en produisant les faisceaux et les intensités à l'extraction présentés en bleu dans la figure; les courbes en rouge sont des ajustements.

Quelque 90% du déversement sont extraits en 0,8 s. Le courant extrait n'est pas sans quelques ondulations résiduelles, mais les ingénieurs de l'IPHE espèrent bien pouvoir les éliminer à l'avenir. L'objectif est d'obtenir des paliers de déversement plats et sans ondulations de 2-3 s ou plus.

On considère que les essais du mode SES ont été fructueux et les mesures du faisceau ont confirmé la faisabilité d'une extraction stochastique lente pour l'U70. Cette méthode promet des déversements plus longs et uniformes, ce qui améliorera les fonctionnalités de la machine.

METALS & ALLOYS

ADVENT

Standard Catalogue Items

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-268.93

3

Lithium

3 Li

6.941

0.54

180.5

4

Beryllium

4 Be

9.0122

1.85

1287

11

Sodium

11 Na

22.990

0.97

97.7

12

Magnesium

12 Mg

24.305

1.74

650

19

Potassium

19 K

39.098

0.86

63.4

20

Calcium

20 Ca

40.078

1.55

842

37

Rubidium

37 Rb

85.468

1.53

39.3

38

Strontium

38 Sr

87.62

2.63

777

55

Caesium

55 Cs

132.91

1.88

28.4

56

Barium

56 Ba

137.33

3.51

727

87

Francium

87 Fr

[223]

5.0

700

88

Radium

88 Ra

[226]

5.0

700

1

Hydrogen

1 H

1.0079

0.090

-252.87

2

Helium

2 He

4.0026

0.177

-

Order on line
Visit our web
site for latest
Catalogue prices
£ • € • Sfr • US\$
+ new stock lines

* Lanthanoids

** Actinoids

www.advent-rm.com

Advent Research Materials Ltd • Eynsham • Oxford • England OX29 4JA

57 La 138.91 6.16 920	58 Ce 140.12 6.89 795	59 Pr 140.91 6.4 935	60 Nd 144.24 6.8 1024	61 Pm [145]	62 Sm 150.36 7.353 1072	63 Eu 151.96 5.244 824	64 Gd 157.25 7.901 1312	65 Tb 158.93 8.219 1356	66 Dy 162.50 8.551 1407	67 Ho 164.93 8.795 1461	68 Er 167.26 9.066 1545	69 Tm 168.93 9.321 1545	70 Yb 173.04 6.57 824
89 Ac [227]	90 Th 232.04 11.72 1827	91 Pa 231.04 15.37 1568	92 U 238.03 19.05 1132	93 Np [237]	94 Pu [244]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]

Metals – Alloys • Foils • Sheets • Wires • Mesh • Rods • Tubes • for Research/Development and Industry
Free Catalogue • 800 Stock Lines • 4500 Standard Packs • Small Quantities • Competitive Prices • Fast Shipment
Tel + 44 1865 884440 Fax + 44 1865 884460 info@advent-rm.com