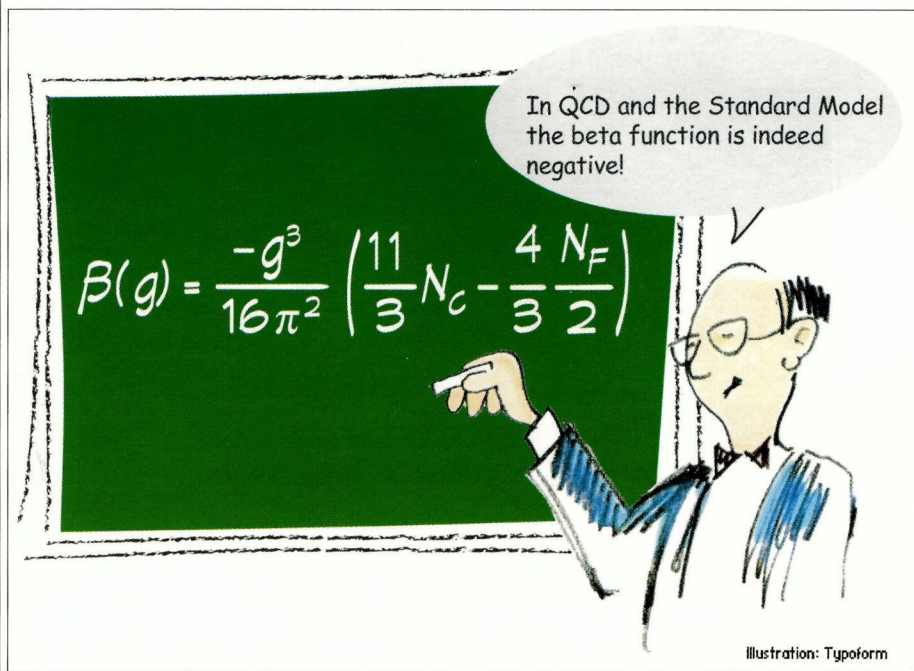


PRIX NOBEL

Le Prix Nobel pour la liberté asymptotique



La célèbre fonction bêta qui sous-tend la liberté asymptotique, où g est la constante de couplage, N_c le nombre de couleurs (trois en CDQ) et N_F le nombre de quarks (six dans le modèle standard). (Académie royale suédoise des sciences.)

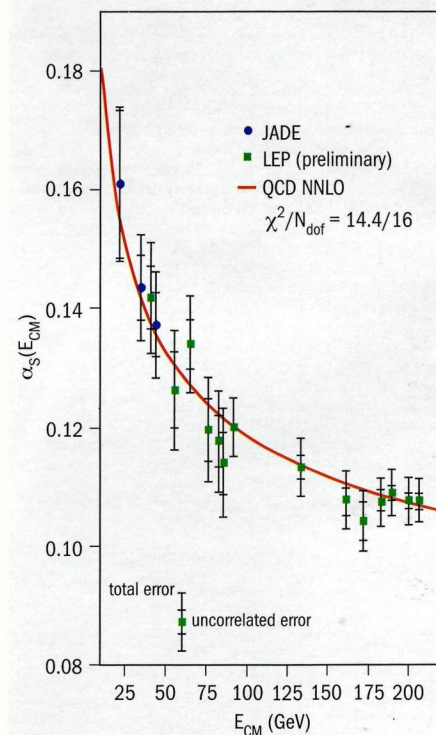
David Gross, David Politzer et Frank Wilczek sont les lauréats du prix Nobel de physique 2004 "pour leur découverte de la liberté asymptotique en théorie de l'interaction forte". Cet honneur leur est conféré un an après qu'ils aient reçu le prix de physique des particules et des hautes énergies de la société européenne de physique et 30 ans exactement après qu'ils aient proposé l'hypothèse remarquable que l'intensité de l'interaction entre deux quarks s'affaiblit quand ils se rapprochent l'un de l'autre.

Politzer et Wilczek étaient encore tous deux doctorants en juin 1973 – Wilczek travaillant avec Gross – quand leurs travaux ont été publiés dans deux articles consécutifs de *Physical Review Letters*, en fait les deux derniers du volume 30. Ils ont découvert un élément clé concernant la fonction bêta qui décrit l'évolution de la constante de couplage d'une interaction avec l'énergie: elle peut devenir négative, contrairement à ce qu'on pensait généralement. Cela signifie que l'intensité de l'interaction peut diminuer quand l'énergie croît et rendre les quarks "asymptotiquement libres" à haute énergie.

Auparavant, en 1970, Kurt Symanzik avait montré que seule une théorie dont la fonction bêta

serait négative pourrait mener à la "loi d'échelle" déduite par James Bjorken (selon laquelle la probabilité d'interaction dépend d'une variable sans dimension) et observée dans les interactions électron-proton au SLAC. Cependant, cet effet n'était connu dans aucune théorie. En électrodynamique quantique, la théorie de champ quantique par excellence, la fonction bêta est positive: en se séparant, les charges se libèrent de leur emprise mutuelle et la force entre elles se réduit. Pouvait-on trouver une théorie de champ quantique de la force forte dont la fonction bêta prenne des valeurs négatives? La question est devenue particulièrement pressante à la suite des travaux de Gerard 't Hooft en 1971 qui ont surmonté les problèmes d'une théorie de champ de jauge pour le cas de la force électrofaible unifiée.

En effet, en 1972, à l'occasion d'une discussion avec Symanzik lors d'une conférence à Marseille, 't Hooft lui-même a compris quelle sorte de théorie posséderait de telles valeurs négatives de bêta. Bien qu'il l'ait mentionné à la conférence, il n'a pas lui-même poursuivi la question (*Courrier CERN* novembre 1998 p31), d'autres s'en sont chargés, dont le groupe de Gross à Princeton et Sidney Coleman à Harvard, avec qui travaillait Politzer. Le



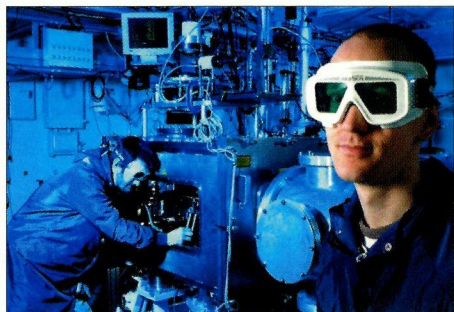
Comparaison de l'évolution du couplage en CDQ des basses énergies de PETRA jusqu'aux hautes énergies du LEP avec les prédictions de la liberté asymptotique.

reste, comme on dit, est de l'histoire, car la découverte de Gross, Politzer et Wilczek a d'une certaine façon libéré non seulement les quarks enfouis dans les protons mais également les théoriciens, devenus libres d'élaborer une théorie de champ quantique de l'interaction forte. Elle a en particulier concentré l'attention sur la chromodynamique quantique (CDQ) dans laquelle les gluons, des particules sans masse de spin 1 (voir p33), véhiculent l'interaction forte.

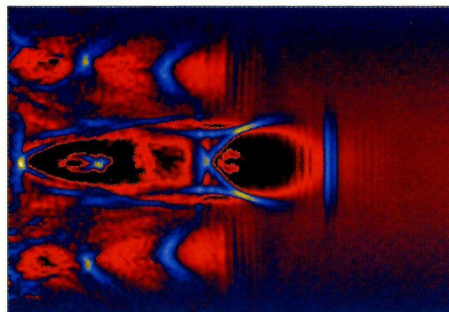
La réduction de l'intensité effective du couplage fort avec l'énergie a depuis été spectaculairement confirmée avec une grande précision, très récemment au collisionneur électron-proton HERA de DESY et dans des études à l'énergie du boson Z au grand collisionneur électron-positon LEP du CERN (*Courrier CERN* mai 2004 p21). Il n'est donc que justice que le prix Nobel vienne maintenant récompenser les idées originales de Gross, Politzer et Wilczek après cette confirmation écrasante par les expériences.

ACCELERATEURS AVANCES

Les ondes plasma activées par laser donnent leur meilleur faisceau



Alec Thomas (à gauche) et Stuart Mangles avec le laser Astra utilisé au laboratoire Rutherford Appleton pour les travaux sur l'accélération laser par champ de sillage.



Dans cette simulation, un canal plasma, plus dense sur les bords, guide le faisceau laser et lui permet ainsi de former des faisceaux d'électrons de grande qualité. En se propageant de la gauche vers la droite, l'impulsion excite un sillage dans le plasma, piégeant et accélérant des paquets d'électrons à des énergies élevées. (Wim Leemans, Cameron Geddes et le groupe de visualisation de la division de recherche calculatoire au laboratoire national Lawrence de Berkeley, avec la Tech-X corporation.)

Trois équipes en Grande-Bretagne, aux Etats-Unis et en France ont annoncé des percées dans l'accélération des électrons à l'aide d'un plasma excité par laser. Pour la première fois, des chercheurs ont pu créer des conditions telles que le faisceau accéléré présente une faible divergence et un faible étalement en énergie. Ce succès ouvre la voie d'un développement pratique d'accélérateurs des particules compacts pour diverses applications.

Toshi Tajima et John Dawson avaient les premiers proposé en 1979 l'idée de dompter les champs électriques élevés engendrés par les ondes plasma excitées par laser pour accélérer des électrons. Le principe de base consiste à diriger une impulsion laser intense sur un plasma, dont les électrons se mettent à osciller en créant une onde plasma relativiste dans le sillage de l'impulsion. On peut de cette manière établir des champs dépassant 100 GeV m^{-1} – des milliers de fois supérieurs à ceux des accélérateurs classiques – et s'en servir pour accélérer des particules chargées qui surfent sur l'onde de plasma. Avec l'arrivée de lasers à haute brillance, diverses expériences ont permis, cette dernière décennie, de faire la démonstration de cette technique d'accélération laser par champ de sillage. En 2003, Karl Krushelnick a mené une collaboration, financée par l'Union Européenne, entre le laboratoire d'optique appliquée à l'Ecole polytechnique de Paris, l'Imperial College de Londres et le laboratoire Rutherford Appleton (RAL), qui a conféré 350 MeV à des électrons sur une distance de seulement 1 mm environ dans un plasma excité par des impulsions laser intenses ultracourtes. Cependant, les faisceaux produits présentaient une très grande dispersion en énergie (jusqu'à 100%) du fait du déferlement de l'onde, de sorte qu'ils n'avaient

guère d'utilité.

Dans leur dernière expérience, les trois groupes ont trouvé différentes techniques pour surmonter ce problème en positionnant convenablement un grand nombre d'électrons par rapport à l'onde du plasma. Sans être monoénergétiques, les faisceaux ainsi produits s'en rapprochent, avec des dispersions de l'énergie réduites à moins de 10%. Ces résultats sont décrits dans des articles successifs d'un même numéro de *Nature* et font suite à des annonces précédentes, par exemple au 11^{ème} atelier sur les concepts d'accélérateurs avancés de juin (*Courrier CERN* octobre 2004 p48).

Krushelnick et ces collègues de Imperial College, de l'université de Strathclyde, de UCLA et du RAL ont utilisé le laser Astra de l'installation laser centrale du RAL pour focaliser des impulsions laser ultracourtes (40 fs), intenses (0,5 J) sur un jet supersonique d'hélium gazeux. Dans le même temps, ils ont réussi à moduler la densité du plasma créé en variant la pression du jet de gaz. Quand la densité du plasma augmente, l'onde commence à déferler, les électrons se "détachent" de l'onde plasma et peuvent alors être accélérés par le reste de cette onde. Aucun électron énergétique n'a émergé du plasma pour des densités inférieures à $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, mais au-delà de cette densité, l'équipe en a détecté jusqu'à 100 MeV. De plus, le spectre d'énergie mesuré dans un spectromètre magnétique présente des pics étroits.

En ajustant soigneusement la densité et en augmentant la puissance du laser, l'équipe a produit des spectres d'énergie présentant des pics isolés étroits, avec une dispersion de seulement 3% pour des énergies de 50 à 80 MeV (Mangles *et al.* 2004). Les chercheurs expliquent leurs observations en termes d'un "déferlement contrôlé". Le déferlement de l'onde n'est pas toujours catastrophique car un certain nombre d'électrons de l'onde plasma peuvent se séparer de l'onde, en réduisant l'amplitude, mais en préservant la structure ondulatoire. Les différences entre les spectres observés correspondent aux écarts de synchronisation des électrons injectés dans cette onde de plasma relativiste (mais dont l'amplitude s'amortit). Pour des densités élevées, la durée du champ de sillage correspond à plusieurs longueurs d'onde du plasma. Des périodes plasma successives peuvent accélérer les paquets d'électrons piégés à différentes énergies, produisant les pics multiples du spectre. Pour une forme à un seul pic, il est probable que seule la première oscillation du plasma est portée jusqu'au point de déferlement.

Le groupe français de Malka a adopté une approche similaire en partant de ses précédents travaux dans lesquels il avait démontré qu'il pouvait produire des faisceaux énergétiques bien collimatés en utilisant des champs de sillage excités par laser, même si ces faisceaux présentaient encore une grande dispersion en énergie. Dans sa dernière expérience, le groupe a créé une "bulle" de plasma dans le sillage d'une impulsion laser comprimée par autofocalisation. Dans les parois de la bulle, le déferlement libère des électrons qui sont accélérés tous ensemble à l'intérieur de cette bulle. Cette technique a permis au groupe d'annoncer l'accélération d'un faisceau présentant seulement 10 mrd de divergence, avec une charge totale de $0,5 \pm 0,2 \text{ nC}$ et une énergie de $170 \pm 20 \text{ MeV}$ (Faure *et al.* 2004).

Pendant ce temps, aux Etats-Unis, Wim Leemans et ses collègues du groupe de l'OASIS (Etudes intégrées d'optique laser et de système accélérateur) au laboratoire national Lawrence de Berkeley ont adopté une approche différente. Ils ont créé dans de l'hydrogène gazeux un canal de densité de plasma, plus dense sur les bords, qui sert à guider l'impulsion laser d'excitation. Ils évitent ainsi l'affaiblissement naturel de l'impulsion par diffraction au cours de sa propagation et allongent donc la distance disponible pour l'accélération. Bien qu'utilisant une tache laser à peu près trois fois plus petite que celle des groupes anglais et

ACCELERATEURS AVANCÉS

▷ français, avec de ce fait une distance de diffraction environ 10 fois plus courte, le groupe de l'OASIS a pu, en utilisant des canaux de plasma, garder un faisceau laser étroitement focalisé et par suite très intense à l'entrée du canal de plasma.

Dans cette méthode, une première impulsion d' "allumage" forme un "fil" étroit de plasma dans lequel une impulsion de "chauffage" pénètre par le côté pour le dilater en créant une voie plus large. Finalement, 500 ps plus tard, on envoie une impulsion intense d' "excitation" à travers ce canal, ce qui active les ondes de plasma et en fin de compte accélère les électrons du plasma. En réglant soigneusement les paramètres du laser et du canal de plasma, l'équipe a observé l'accélération de paquets d'électrons avec une dispersion minimale en énergie (par exemple $\pm 2\%$ à une énergie de 86 MeV et une divergence de 3 mrd – largeur totale à mi-hauteur – pour une charge de 0,3 à 0,5 nC – Geddes *et al.* 2004). L'émission normalisée est estimée à environ $1-2\pi$ mm-mrd (vqm). Une fois

encore la dispersion en énergie reste faible grâce à plusieurs facteurs, dont le plus important est l'ajustement de la longueur d'accélération pour l'adapter à la distance de déphasage à partir de laquelle les électrons commencent à dépasser l'onde. Les simulations du processus à l'aide du code VORPAL, avec une particule par cellule, indiquent que le front de l'impulsion laser commence par devenir plus abrupt en se propageant dans le plasma. C'est pourquoi, à mesure que l'impulsion laser se propage plus profondément dans le canal elle excite des ondes de plus grande amplitude. Dès que l'amplitude de l'onde atteint un niveau suffisant pour piéger les électrons ordinaires et que le processus d'accélération s'étend jusqu'à la distance de déphasage, il se produit un groupement en impulsion, ce qui donne pour le faisceau une faible dispersion en énergie. Cela, combiné avec une charge par le faisceau suffisante pour réduire le piégeage dans les paquets accélérateurs de queue, produit la qualité des faisceaux

d'électrons que l'on observe, avec de faibles divergences et une faible dispersion en énergie.

Ces résultats représentent un grand succès, mais les trois groupes insistent sur la nécessité de poursuivre le travail, par exemple sur le rendement et la stabilité coup par coup par exemple. Par ailleurs, on ne sait pas encore clairement comment on peut construire par cette technique un accélérateur à étages pour atteindre les téravolts généralement requis aujourd'hui pour la recherche sur la frontière des hautes énergies. Cependant, les résultats donnent de grands espoirs de progresser vers des machines compactes, très brillantes, fonctionnant dans la région des giga-électronvolts. Elles auraient de multiples applications, par exemple en science des matériaux, en chimie ultrarapide et en médecine.

Pour en savoir plus

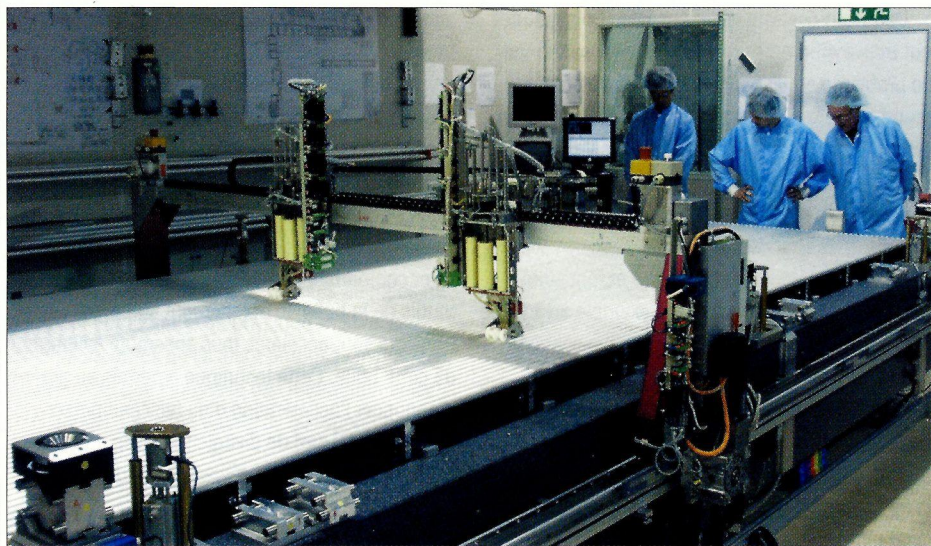
C G R Geddes *et al.* 2004 *Nature* **431** 538.

J Faure *et al.* 2004 *Nature* **431** 541.

S P D Mangles *et al.* 2004 *Nature* **431** 535.

NIKHEF

Les chambres à muons d'ATLAS sont dans les clous



Assemblage d'une chambre à muons complète de la couche externe du système à muons de la partie tonneau d'ATLAS.

Le 5 octobre, les techniciens du NIKHEF, l'institut national hollandais de physique nucléaire et des hautes énergies, a collé la dernière couche de tubes à dérive en aluminium sur la 101^{ème} et dernière chambre à muons de précision d'ATLAS assemblée à Amsterdam. Quatre-vingt-seize d'entre elles forment l'ensemble complet des "grandes chambres extérieures du tonneau" qui constitue la plus grande partie de la troisième et dernière

couche dans le système pour muons du tonneau d'ATLAS. Au cours des trois années d'assemblage des chambres, après bien des années de travaux de R&D, on a produit quelque 42 000 tubes à dérive à contrôle continu de 30 mm de diamètre et de 5 m de longueur. Une machine semi-automatique a placé les fils sensibles en tungstène, au total 200 km, ainsi que le 84 000 bouchons d'extrémité.

Les tubes en tungstène ont été soumis à diffé-



Le banc d'essai à rayons cosmiques du NIKHEF.

rentes vérifications sur la précision du positionnement des fils et de leur tension, leur étanchéité sous 3 bars de pression et leur aptitude à tolérer une tension élevée sur les fils sensibles avec un courant d'obscurité faible.

Les tubes qui ont passé les tests de qualité ont été collés ensemble pour former des couches comprenant jusqu'à 72 tubes parallèles; les chambres à muons complètes comprennent deux

jeux de trois couches de tubes chacun, séparés par des entretoises de dimensions précises.

Pour mesurer exactement les muons d'impulsion élevée au LHC, précision et vérification ont été les maîtres mots durant l'assemblage des chambres. Partout à l'intérieur des dimensions des chambres, allant jusqu'à 5×2 m, les tubes devaient être montés avec une précision de $20 \mu\text{m}$. Pour y parvenir on a disposé des gabarits de précision sur un marbre

dans une salle blanche à température et humidité contrôlées. Pendant l'assemblage on a constamment surveillé les positions des tubes en utilisant le système d'alignement RASNIK du NIKHEF.

On installe actuellement les équipements annexes des chambres à muons: la distribution de gaz et l'électronique. En octobre commence la routine du contrôle des chambres, cinq par cinq, à l'aide des rayons cosmiques dans un banc d'essai

spécial intégrant le système de contrôle du détecteur de muons d'ATLAS, le système d'alignement RASNIK et l'électronique de lecture d'ATLAS.

A partir de décembre, les chambres seront transportées au CERN où elles seront montées, avec les chambres de déclenchement (des chambres à plaque résistive), sur un support commun. Le premier de ces assemblages sera installé dans ATLAS à la mi-mai 2005.

CERN

Le CERN célèbre son 50ème anniversaire

Le jour de 50ème anniversaire du CERN, le 29 septembre 2004, les autorités des pays-hôtes de l'organisation ont célébré l'événement en illuminant le ciel. A la nuit tombée, 24 puissants projecteurs ont pointé leur faisceau vers le ciel depuis les huit points d'accès autour du tunnel de 27 km qu'occupera le Grand collisionneur de hadrons LHC. Ces rayons lumineux jaillissant de la plaine matérialisaient l'étendue de l'immense anneau.

Les spectateurs étaient invités à se joindre à la célébration au-dessus du village de Crozet, au pied du Jura. Avant les jeux de lumière, les représentants de la région franco-genevoise se sont succédés au micro, puis ils ont cédé la place à une téléconférence pour quelques allocutions: le directeur général du CERN, Robert Aymar, a parlé depuis la conférence CHEP 2004 à Interlaken et deux de ses prédécesseurs, Luciano Maiani et Chris Llewellyn Smith, en ont fait de même respectivement depuis Rome et Londres. Tim Berners-Lee, l'inventeur du Web, est également apparu par visioconférence pour souhaiter au CERN une bonne continuation. Les personnes nées en 1954 étaient ensuite invitées à venir souffler les bougies d'un gâteau d'anniversaire.

L'événement a été organisé par le département de justice, police et sécurité du canton de Genève, avec la participation du Conseil municipal de Crozet et le soutien des Conseils locaux du canton de Genève, de la communauté des communes du pays de Gex et de la préfecture de l'Ain; cet événement franco-suisse revêtait une grande valeur symbolique car le CERN accueille des collaborations scientifiques du monde entier.

Les festivités avaient en fait débuté plus tôt dans le mois, le 17 septembre, quand les cernois et leurs familles ont rempli les salles du restaurant numéro 1 et sa terrasse. Dans sa brève allocution, le directeur général Robert Aymar avait porté un toast au personnel du CERN en saluant sa compétence démontrée tout au long de l'histoire



Des projecteurs disposés aux points d'accès au tunnel du Grand collisionneur de hadrons LHC éclairent le ciel nocturne au-dessus de Genève pour permettre de visualiser l'étendue de l'anneau de 27 km.



Vue partielle du grand orchestre rassemblé pour la fête du personnel marquant le 50ème anniversaire.

de l'Organisation. Il avait également noté que la multitude des nationalités présentes fait la force

du CERN car ces personnes y collaborent en apportant la diversité de leur bagage intellectuel. Un divertissement musical était ensuite offert par l'orchestre Big Bang du CERN, composé principalement des musiciens de divers clubs de musique du CERN et de l'ensemble de Jazz de Divonne; il a joué une composition originale de Jean-François Mathieu, créée pour l'anniversaire du CERN et intitulée *Accélération/Célébration*.

Les célébrations se sont aussi poursuivies en octobre. La journée portes ouvertes la plus ambitieuse de l'histoire de l'Organisation s'est déroulée le 16 octobre et elle a été suivie le 19 octobre par une célébration officielle pour les personnalités. Le compte rendu de ces événements paraîtra dans le numéro de décembre du *Courrier CERN*.

MILMEGA

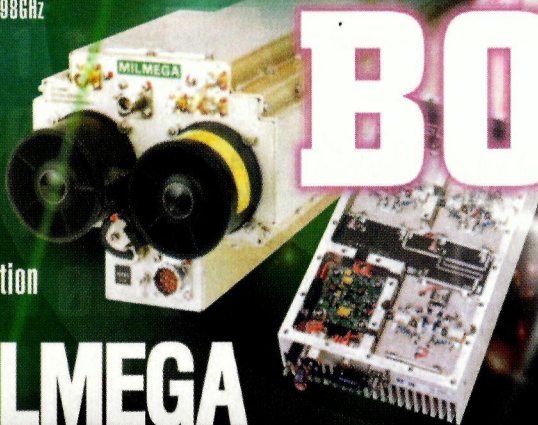
Solid State Microwave Amplifiers

- Pulsed or CW to 12GHz Solid State Microwave Amplifiers
- Complete load mismatch tolerance
- Unbeatable power densities
(eg 1kW Broadband CW in 12u rack,
4kW/1kW at 1.3GHz/2.998GHz
pulsed in 4u rack)
- Pulse Width to
200 microsecs
- Full Built-In Test
- Water Cooled Option



WHERE GOOD IDEAS ARE

BORN



Our Customers include:

CERN

SLAC

INFN

BESSY

GANIL

POSTECH

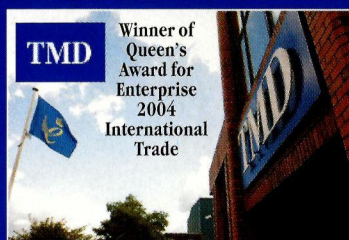
BERKELEY

www.milmega.co.uk

DESIGNERS AND MANUFACTURERS OF HIGH POWER MICROWAVE AMPLIFIERS AND SYSTEMS

Milmega Ltd, Ryde Business Park, Nicholson Road, Ryde, Isle of Wight PO33 1BQ UK
Tel: +44(0) 1983 618005 Fax: +44(0) 1983 811521 sales@milmega.co.uk

...on your wavelength

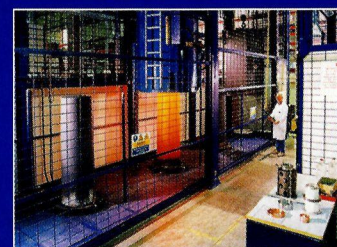


TMD

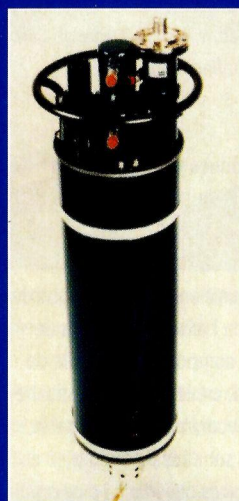
Winner of
Queen's
Award for
Enterprise
2004
International
Trade

TMD Technologies Ltd

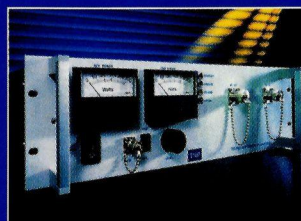
Swallowfield Way Hayes Middlesex UB3 1DQ UK
44 (0)20 8573 5555 44 (0)20 8569 1839 (fax)
<http://www.tmd.co.uk> email: wecare@tmd.co.uk
ISO 9001:2000 approved



**Extensive
Processing
Capability**

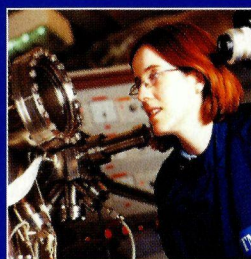
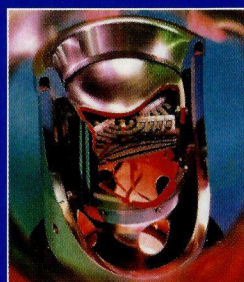


**Broadband
Klystrons**



**TWT and Solid
State Amplifiers**

Waveguide Window
Fabrication



**European "Centre of Excellence" for
Microwave Tube and Electron Gun Design!**

**Interested?
See us at UK at
CERN 2004!**