

Higgs pour tous

Le modèle électrofaible embrasse l'électromagnétisme et la force nucléaire faible, expliquant des phénomènes qui vont de la foudre jusqu'à la décroissance bêta du noyau; son histoire est celle de l'un des grands succès de la physique du vingtième siècle. Cependant, il reste incomplet et il se pourrait qu'au cours de la dernière décennie du millénaire les informations inédites qu'apportera le nouveau collisionneur électron-positon LEP du CERN permettent de remplir les blancs.

Le modèle est forgé à partir d'une théorie de jauge (c.-à-d. de phase) de Yang-Mills traitant de la manière dont les nombres quantiques tels que l'isospin et la charge électrique peuvent se transformer dans l'espace et dans le temps. Cette théorie tentait de généraliser le succès de l'électrodynamique quantique mais semblait toujours exiger que les porteurs du champ (les bosons de jauge) – analogues aux photons de l'électrodynamique quantique et portant une unité de moment cinétique intrinsèque (spin) – soient de masse nulle.

La physique au LEP

Le nouvel anneau LEP de 27 km au CERN va bientôt fournir ses premières collisions électron-positon. Cet article est le premier d'une série dont le but est de dégager certains des objectifs expérimentaux.

Les derniers aimants de LEP

Le 26 mai, les derniers aimants du nouveau collisionneur électron-positon LEP du CERN ont été délicatement amenés dans leur position finale. Ils étaient guidés par le Directeur général Carlo Rubbia et par Herwig Schopper qui, en tant que Directeur général du CERN de 1981 à 1988, a supervisé une si grande partie des travaux de préparation et de construction de la machine de 27 km.

La cérémonie d'installation constituait un point d'orgue approprié pour la «Schopper Fest» en honneur de l'ancien Directeur général.

L'installation des aimants du LEP avait commencé symboliquement le 4 juin 1987 quand Pierre Aubert, président en 1987 de la Confédération suisse, et Jacques Chirac, alors pre-

mier ministre français, s'étaient joints à la pose du premier aimant. Dans les deux années qui se sont écoulées depuis, l'impressionnante collection des aimants du LEP (3280 dipôles ordinaires, plus de 800 quadripôles, 500 hexapôles, plus de 600 dipôles de correction et divers autres aimants) a été positionnée avec précision sur l'anneau de 27 km.

Le jalon important suivant pour le LEP sera le système à vide dont l'achèvement est programmé en juin, mises à part quelques touches finales dans les régions voisines des quatre expériences qui sont elles-mêmes le cadre des derniers préparatifs avant l'injection en juillet des premiers faisceaux dans l'anneau achevé.

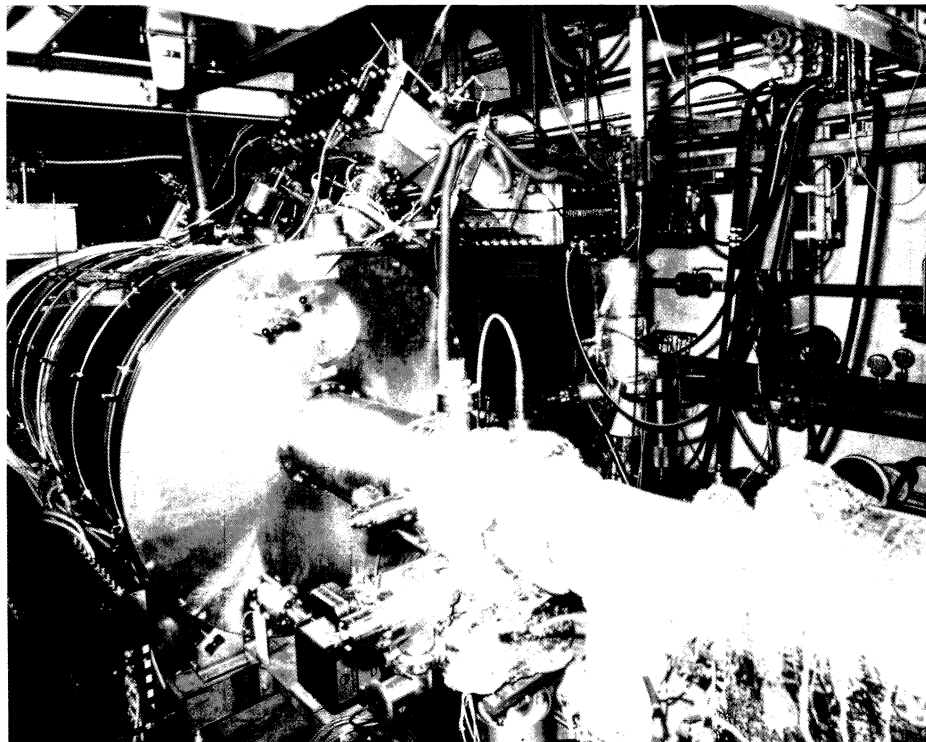


Le directeur général du CERN, Carlo Rubbia (à gauche), et Herwig Schopper, directeur général du CERN de 1981 à 1988, actionnent la machine pour installer le dernier aimant du nouveau collisionneur électron-positon LEP du CERN, dont le calendrier prévoit qu'il sera opérationnel en juillet.

(Photo CERN 441.5.89).

Des cavités accélératrices supraconductrices radiofréquence permettront d'augmenter l'énergie de collision dans le LEP et fourniront un plus vaste domaine pour y découvrir le phénomène essentiel de brisure spontanée de la symétrie (phénomène de Higgs) qui est au coeur de la théorie électrofaible. On voit ici une cavité au banc d'essai dans l'anneau du SPS.

(Photo CERN 281.8.88)



Le modèle électrofaible doit garantir que la force électromagnétique à longue portée – dont le messager est le photon de masse nulle et de spin unité – possède dans les conditions normales des propriétés tout à fait différentes de la force nucléaire faible de courte portée et dont les médiateurs sont un trio de particules lourdes, mais portant également chacune une unité de spin. Ce triplet formé des bosons W de charges électriques plus et moins et du Z électriquement neutre a été découvert au collisionneur proton-antiproton du CERN en 1983. Le problème était de faire place aux masses des W et du Z sans perdre pour autant la symétrie sous-jacente.

La ruse essentielle utilisée pour le résoudre invoque la brisure spontanée de la symétrie, cette expression signifie qu'une théorie dont les équations présentent une certaine symétrie possède des solutions qui en sont dépourvues. Par exemple, les équations de l'électromagnétisme sont symétriques, mais leurs solutions magnétiques ne le sont pas nécessairement – la sélection d'une orientation pour les spins des électrons dans l'état fondamental d'un corps ferromagnétique brise spontanément la symétrie.

En théorie quantique des champs, une brisure spontanée de la symétrie donne naissance à des particules sans masse et sans spin (bosons de «Goldstone»), dont il n'est pas immédiatement évident qu'elles soient utiles pour l'unification électrofaible.

Au milieu des années soixante, plusieurs théoriciens (dont P. Anderson, R. Brout, F. Englert, G. Guralnik, C. Hagen, P. Higgs et T. Kibble) se sont entraides pour élaborer une autre manière de briser la symétrie qui élimine les particules sans masse indésirables. Des particules apparemment sans masse de «Goldstone» se combineraient avec des bosons de jauge apparemment sans masse pour donner des parti-

cules de champ massives, sans détruire la symétrie sous-jacente.

Dans le modèle électrofaible, le phénomène de Higgs permet de conférer une masse aux bosons W et Z bien que le photon reste de masse nulle. Ce résultat est obtenu en sélectionnant, au moyen du champ de Higgs, une direction privilégiée de l'isospin, ce qui n'affecte pas le photon électromagnétiquement neutre.

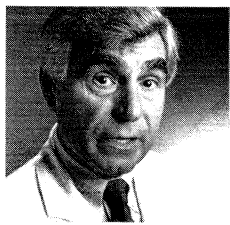
Après avoir suivi ces directives, il nous reste encore une grande liberté de choix et la forme obtenue pour le modèle électrofaible n'offre aucun moyen de fixer les masses des particules de Higgs. Jusqu'à présent, nul signe d'une quelconque particule de Higgs n'a été décelé. Légère, dans la gamme des MeV, on l'observerait dans les analyses de précision des spectres de rayons X des atomes muoniques, dans la décroissance des états nucléaires excités et dans la diffusion neutron-noyau à très basse énergie. Les désintégrations des mésons constituent une autre source potentielle de particules de Higgs. Les recherches infructueuses dans les désintégrations de kaons, par exemple dans l'expérience NA31 au CERN, éliminent probablement tout Higgs de masse inférieure à quelques centaines de MeV. Des mésons plus massifs, tels que les particules B et les upsilons, permettent d'atteindre des limites inférieures plus élevées. On peut maintenant exclure la plupart des variantes de la particule de Higgs de masse inférieure à 3,6 GeV et, pour continuer cette recherche in-

cessante, il faudra attendre d'avoir les moyens de faire reculer les frontières de l'énergie.

C'est ici que le LEP entre en jeu. L'objectif immédiat est d'y obtenir des faisceaux de 46-47 GeV et de viser les quelque 93 GeV du boson Z, le porteur électriquement neutre de la force nucléaire faible. Le Z est couplé au phénomène de Higgs et, si les particules associées sont suffisamment légères, on devrait pouvoir les observer dans les désintégrations de Z, accompagnées d'une paire de muons, d'une paire de neutrinos ou d'un photon. En débusquant la particule de Higgs, cette recherche permettrait également d'observer ses modes de désintégration, ce qui fournirait des informations supplémentaires précieuses.

Si la particule de Higgs n'est pas extrêmement légère, les désintégrations intéressantes de Z sont tout à fait rares et il sera nécessaire d'accumuler des Z pendant environ une année, même si le LEP fonctionne près de sa luminosité nominale de $1,7 \times 10^{31} \text{ cm}^{-2}$ (initialement le chiffre sera moindre, voir numéro de mai, page 5).

Le sixième quark (t), attendu de longue date, n'a pas encore daigné se montrer et il se pourrait que les énergies de collisions au LEP (approchant 100 GeV initialement) dépassent enfin le seuil de production du t, ouvrant la porte sur une nouvelle spectroscopie de particules. Cela constituerait déjà un succès expérimental majeur mais, de plus, les désintégrations de certains des états liés du quark t et d'un anti-



"Huntington gives me twice the selection in vacuum positioners. And they build 'em better."

Get exactly what you need.

In vacuum positioners and feedthroughs, Huntington gives you more than *twice* the selection...

Linear, rotary, angular and X-Y-Z precision manipulators. Coaxial and multimotion, too. Motorized, manual, pneumatic, you name it. With accessories for gripping, holding, transferring, even heating and cooling samples in vacuum. Combine parts and get even greater variety.

Whether you need bellows-sealed, magnetically-coupled, differentially pumped or any combination. From rough to micron-precise motion control, you'll get exactly what you want. In a range of pricing, to meet your budget.

Faster response. Even on specials.

Huntington keeps a lot more product in stock. Which is why more than 90% of their orders ship within 72 hours.

If you need a special modification or combination, or something entirely new, just say the word. Huntington has the engineering staff and talent to make it happen, fast.

Innovative design. Better construction.

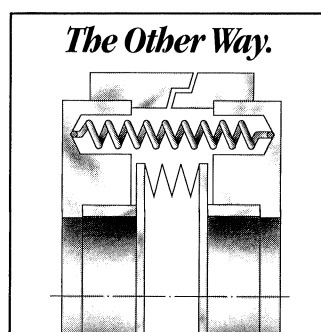
It's not surprising that Huntington has the most patents...

Like its new Polar Coordinate Manipulator, which lets you move in a straight line instead of X-Y zig-zags.

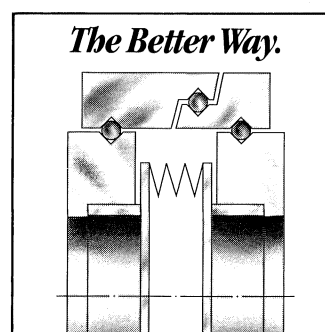
Like rotary feedthroughs that deliver higher torque in smaller envelopes by eliminating old bent-shaft designs.

Like Huntington's unique ball-bearing Acu-Port which turns effortlessly, even when supporting heavy devices.

And no one *builds* positioners like Huntington: Maximum-life bellows design. No plastic parts, because



Other port-aligners are held together with springs. Friction makes them hard to turn. Heavy feedthroughs pull them apart.



Huntington's patented Acu-Port with interlocking ball bearings turns smoothly and easily, even when supporting heavy devices.

most Huntington positioners are bakeable to 450°C. And special Summa Process treatment to make Huntington's stainless steel chemically cleaner and physically smoother.

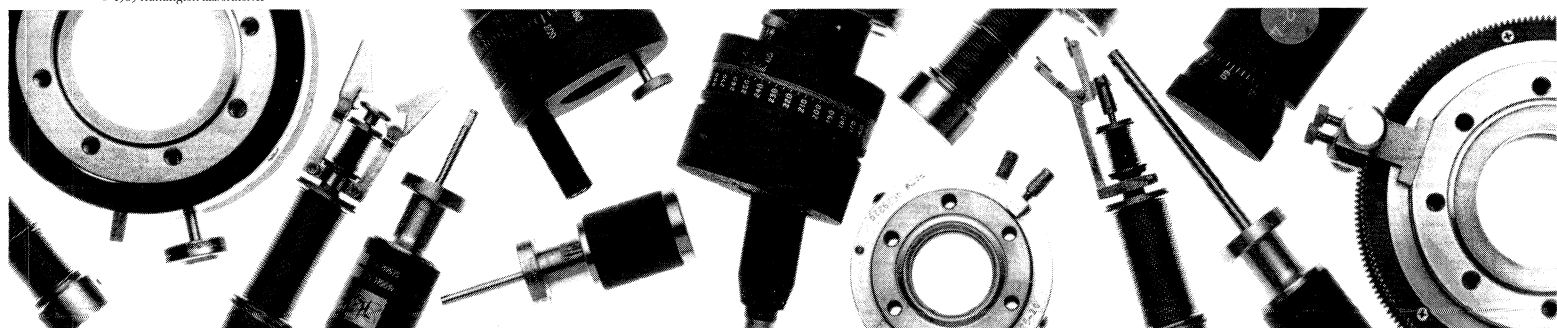
Get your free Huntington catalog, now.

The full spectrum of better-built Huntington vacuum components, including positioners, is detailed in the new catalog...

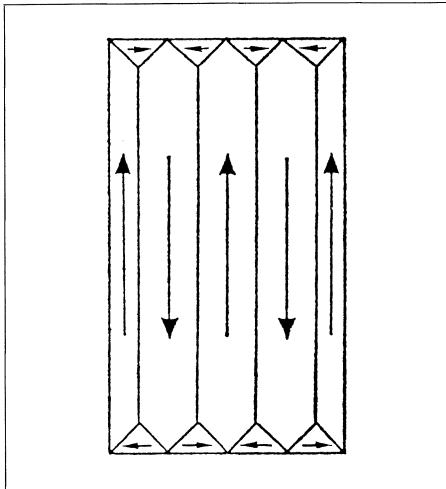
For your free copy, just call or write: Huntington Laboratories, 1040 L'Avenida, Mountain View, CA 94043. (800) 227-8059 or (415) 964-3323.



Huntington®
Built Better. For 20 Years.



Une brisure spontanée de la symétrie se produit quand une théorie décrite par des équations présentant une certaine symétrie possède des solutions qui en sont dépourvues. Par exemple, les équations de l'électromagnétisme sont symétriques, mais leurs solutions magnétiques ne le sont pas nécessairement: quand on sélectionne une orientation pour les spins des électrons dans l'état fondamental d'un corps ferromagnétique on brise spontanément la symétrie dans chaque «domaine» microscopique.



quark pourraient être des sources de particules de Higgs. Cependant, des recherches aux collisionneurs proton-antiproton du CERN et du Laboratoire Fermi suggèrent que le quark t pourrait être tellement lourd que des désintégrations en particules de Higgs seraient relativement peu fréquentes. De plus, si malicieusement le spectre relatif au quark t se situe autour de la masse du Z , les physiciens devront démêler soigneusement les effets dus à l'un et à l'autre.

Un objectif ultérieur au LEP sera une augmentation de l'énergie des faisceaux – grâce à des cavités supraconductrices radiofréquence – suffisante pour que les électrons et les positons en collision puissent produire une paire de particules W , les porteurs électriquement chargés de la force nucléaire faible. Si la masse du Higgs est dans la gamme adéquate, les particules en collisions pourraient également produire des paires Z -Higgs.

Avec l'entrée en scène du LEP, les physiciens attendent impatiemment les premières informations concrètes sur le phénomène crucial mais mystérieux de brisure de la symétrie qui sous-tend la théorie électrofaible tellement satisfaisante.

L'informatique en physique des hautes énergies

Le calcul en physique des hautes énergies a changé au fil des ans, passant de la règle à calcul à l'ordinateur, mal nécessaire au début mais aujourd'hui présent à tous les stades, depuis la commande des appareils jusqu'aux calculs théoriques de jauge sur réseau.

L'état de l'art ainsi que les orientations nouvelles et les espoirs nouveaux ont été reflétés dans la Conférence Computing in High Energy Physics de cette année qui s'est tenue dans le cadre reposant d'Oxford et de son gothique élan. Venant principalement d'Europe, des Etats-Unis, du Japon et d'Union soviétique, les 260 participants étaient logés et prenaient leurs repas dans les environs incomparables du New College, source d'une ambiance particulière; un grand nombre d'entre eux ont trouvé amusante l'idée qu'un collège de quelque six cents ans continue d'être qualifié de «nouveau».

La réunion visait à broser un panorama d'ensemble, d'où un programme chargé comprenant 35 conférences en plénière et 48 communications sur deux après-midis de séances parallèles. Un certain nombre d'exposés, en accord sinon avec le titre du moins avec le but de la conférence qui était de réunir des physiciens des hautes énergies et des informaticiens, ont été présentés par des spécialistes en informatique.

La complexité et le volume des données produites par les expériences de physique des particules explique l'intérêt que présentent pour l'informatique les problèmes liés au calcul électronique. Ce domaine a été couvert par David Williams (CERN) et par Louis Hertzberg.

David Williams (CERN) plante le décor à la Conférence d'Oxford sur l'informatique en physique des hautes énergies.

(Photo RAL)

