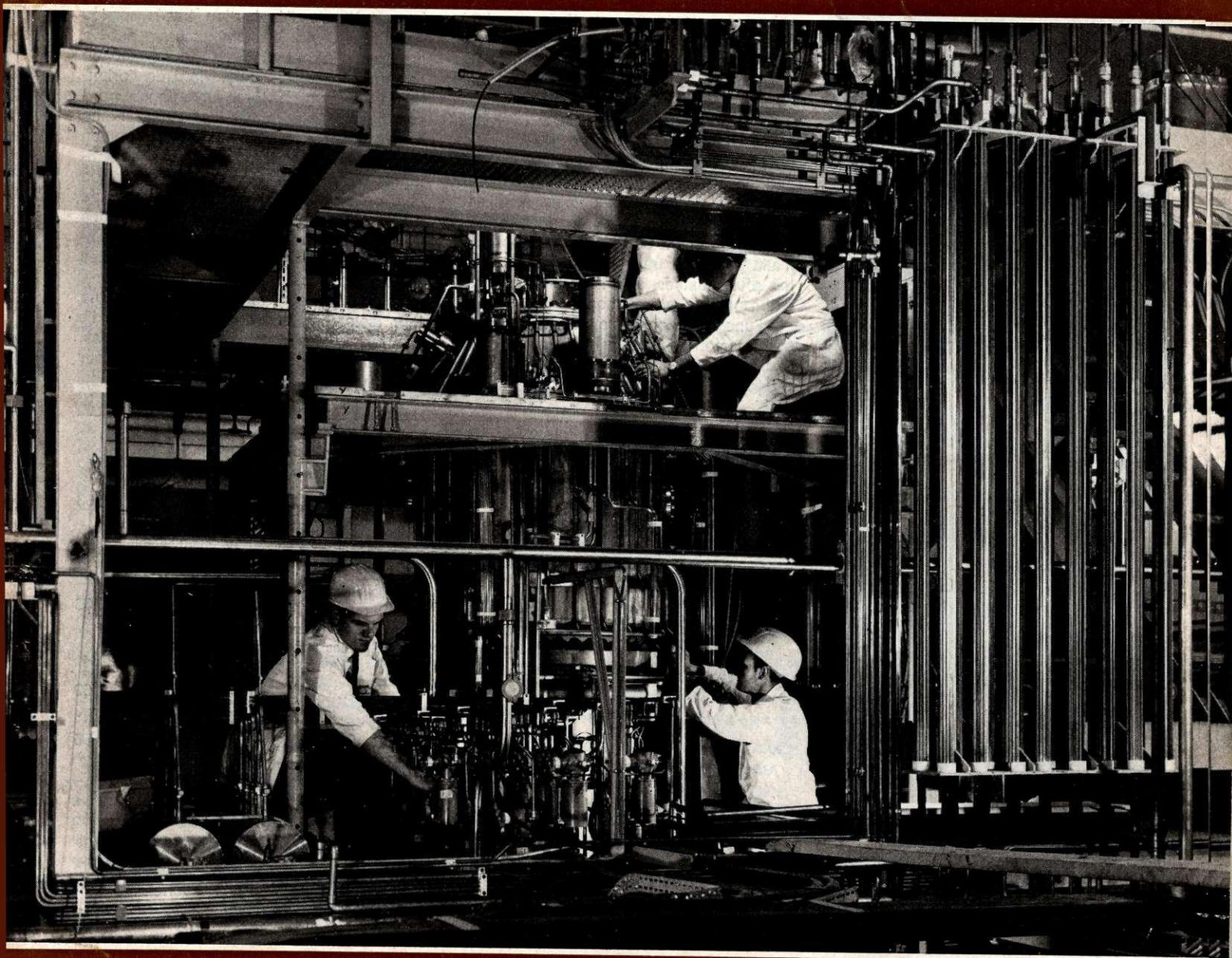


CERN

COURRIER

No 3 Vol. 9 Mars 1969

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire



Le CERN — ou l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire — a été créé en 1954 en vue d'assurer «... la collaboration entre Etats européens pour les recherches nucléaires de caractère purement scientifique et fondamental, ainsi que pour d'autres recherches en rapport essentiel avec celles-ci». Son rôle est de centraliser et de coordonner les recherches théoriques et expérimentales entreprises en Europe dans le domaine de la physique subnucléaire, cette avant-garde de la science qui s'attaque directement aux grands problèmes des lois fondamentales qui gouvernent la structure de la matière. Le CERN est un des premiers laboratoires du monde dans ce domaine.

Le programme expérimental est basé sur l'utilisation de deux accélérateurs de protons — un synchro-cyclotron de 800 MeV (SC) et un synchrotron de 28 GeV (PS). Ce dernier sera complété par de grands anneaux de stockage à intersections (ISR), actuellement en construction, qui permettront des expériences de collisions de faisceaux de protons. Les expériences sont effectuées par des physiciens de nombreuses universités, aussi bien que par ceux du CERN, et on peut estimer qu'ils sont près de 1200 à obtenir de cette manière les données expérimentales nécessaires à leurs recherches.

L'Organisation a son siège à Meyrin, près de Genève, Suisse. Le Laboratoire couvre une superficie de 80 ha environ répartis presque également de part et d'autre de la frontière séparant la France de la Suisse. Son effectif total est d'environ 2650 personnes, sans compter plus de 400 boursiers et savants visiteurs.

Trente Etats européens participent aux travaux du CERN, contribuant au coût du programme de base, 235,2 millions de francs suisses en 1969, proportionnellement à leur revenu national net. Des programmes supplémentaires comprennent la construction des ISR et les études relatives à un projet proposé de synchrotron à proton de 300 GeV.

COURRIER CERN est publié par le CERN mensuellement en français et en anglais. Il est envoyé gratuitement au personnel du CERN et aux personnes qui s'intéressent à la physique subnucléaire.

Les articles peuvent être reproduits, sous réserve de mention COURRIER CERN. La plupart des illustrations peuvent être fournies gratuitement aux rédactions.

Les annonces sont publiées sous la seule responsabilité de leurs auteurs.

Rédacteur: Brian Southworth
Rédacteur adjoint: Philippe d'Agraves
Annonces: Micheline Faichela
Photographies: Gérard Bardin

Service d'Information du Public
CERN, 1211 Genève 23, Suisse
Tél. (022) 41 96 11 / Téléc. 2 36 98

Imprimé par: Ed. Cherix et Filanosa S.A.
1260 Nyon, Suisse

Commentaire

En 1935 Julian Huxley était élu secrétaire de la Zoological Society de Londres, poste qui impliquait la responsabilité du Zoo. Au cours des sept années qui suivirent, sa présence ne se signala pas uniquement par la qualité de ses recherches scientifiques axées sur le Zoo, mais également par l'ouverture au public des portes du Zoo. Il était en effet convaincu que dans le comportement animal existait quelque chose d'attirant et de beau, perceptible à tous.

Expositions et conférences se multipliaient. On prépara des livres et des brochures. Un magazine du Zoo fut lancé, dont la diffusion atteignit jusqu'à 100 000 exemplaires. Un chargé de relations publiques fut nommé et l'on tint chaque matin une conférence de presse de manière qu'il ne se passe pratiquement pas de jour sans que paraisse dans les journaux une chronique sur les animaux du Zoo de Londres dont les artistes et photographes furent encouragés à utiliser pleinement les ressources.

Le but était de focaliser sur le Zoo l'intérêt populaire pour tout ce qui concernait les animaux et les aspects de la vie animale (scientifiques, artistiques, littéraires). L'une des conséquences immédiates en fut l'immense accroissement du nombre de visiteurs. Le Zoo fit désormais partie de la vie nationale.

La politique d'Huxley aida à l'éclosion d'une prise de conscience vis-à-vis des animaux et d'un amour pour eux, vitaux pour la création, dans l'opinion, d'un climat qui a permis le lancement et le soutien politique de programmes de préservation de la vie sauvage. Cette politique n'alla pas sans traverses. Les Zoologistes les plus hostiles aux innovations prirent ombrage de l'intérêt montré par le public et d'une intrusion dans ce qui avait été pratiquement jusqu'alors leur domaine exclusif. Ils parvinrent enfin à chasser Huxley de son poste en 1942, mais à cette

époque les portes du Zoo ne pouvaient déjà plus être refermées. (Toutefois leurs manœuvres permirent de libérer Huxley qui put ainsi, comme Directeur général de l'UNESCO, marquer les deux premières années de rodage de cette organisation (1946-1948), de la griffe de son génie.)

En page 70, Yuval Ne'eman ouvre les portes du Zoo des particules, dans un excellent article sur «l'interaction forte». Les particules ne sont pas aussi accessibles que les animaux, mais il est néanmoins possible d'arriver à comprendre dans une large mesure l'attraction exercée par ce domaine scientifique, comme le démontre l'auteur.

Les particules ne sont pas la propriété exclusive des physiciens qui se consacrent au domaine des hautes énergies. Il existe au contraire presque une obligation morale d'ouvrir les portes du «Zoo» à ceux qui financent les recherches. Mais plus décisif peut-être, est l'argument égoïste.

Actuellement on constate un sentiment de déception croissant et largement répandu à l'égard de la science. La meilleure méthode d'évaluation, basée sur les statistiques, de ce phénomène, est le manque d'intérêt vis-à-vis de la science remarqué chez les jeunes lors de l'orientation de leur carrière. La science perd son pouvoir d'attraction. Un autre indice sensible est constitué par la diminution de l'espace consacré aux sujets scientifiques par les journaux. Les rédacteurs en chef estiment que la science intéresse de moins en moins le public. Les décisions d'ordre politique et les budgets sanctionnent souvent assez vite de semblables états de choses.

Si les savants refusaient de sortir de leur isolement, et de battre l'estrade, ils pourraient bien constater, trop tard hélas, l'écroulement des fondations de leur tour d'ivoire.

Sommaire

Où en est la BEBC	63
Informations sur la grande chambre à bulles à hydrogène de 3,7 mètres. Dernières modifications apportées au projet et résultat des essais effectués avec l'aimant supraconducteur expérimental «Braracourcix» et la maquette de 1 mètre destinée à l'étude des propriétés thermodynamiques et optiques.	
Nouvelles du CERN	66
Annulation de la session du Conseil ; cyclage double de la chambre à bulles de 2 m ; partage du faisceau par cibles en série ; visiteurs au CERN ; les transformateurs de courants de faisceaux en service ou en projet.	
De l'interaction forte	69
Article sur l'interaction forte écrit par Yuval Ne'eman.	
Nouvelles des autres laboratoires	75
SACLAY : LINAC de 600 MeV et bobine supraconductrice expérimentale ; BATAVIA ; premiers protons accélérés, formation de techniciens, nouveaux membres de l'URA ; STANFORD (SLAC) : conférence sur le rayonnement ; RTI de Moscou : maquette cybernétique ; TOKYO : pas de crédits pour le 40 GeV ; ILLINOIS : microtron supraconducteur.	

Photographie de couverture : autour de la maquette de 1 mètre. Cette dernière, en service depuis juin 1968, sert à vérifier la plupart des caractéristiques théoriques de la grande chambre à bulles européenne. Des essais sont effectués sur ses propriétés thermodynamiques et optiques, et sur la possibilité d'utiliser un rayon laser pour les marques fiducielles. (CERN/PI 97.10.68)

Où en est la BEBC?

Plan définitif de la BEBC

1) corps de la chambre ; 2) fenêtres de faisceau ; 3) vide chambre ; 4) disque de séparation ; 5) piston ; 6) échangeurs ; 7) pompes à vide secondaires ; 8) évent vide chambre ; 9) moteur de détente ; 10) hublot « fish-eye » ; 11) pompes des « fish-eye » ; 12) chargeurs des caméras ; 13) enroulements supraconducteurs ; 14) cryostats ; 15) entretoises des bobines ; 16) réservoir tampon d'hélium ; 17) vide aimant ; 18) enceinte magnétique ; 19) atmosphère d'azote ; 20) évent enceinte magnétique.

C'est en juin 1967 que le Conseil du CERN approuvait le projet de la grande chambre à bulles européenne qui lui avait été soumis par un groupe d'experts d'Allemagne, de France et du CERN. La chambre proprement dite est un cylindre vertical de 3,7 m de diamètre et de plus de 2 m de haut, dont le sommet est un dôme où sont placées quatre caméras dotées d'objectifs « fish-eyes ». A sa partie inférieure se trouvent le piston et le système de détente qui produit les variations de pression nécessaires à la formation des bulles dans le sillage des particules chargées.

La chambre, qui contiendra 33,5 m³ d'hydrogène liquide, est entourée d'une enceinte à vide autour de laquelle est disposée une bobine supraconductrice produisant un champ de 35 kilogauss. Cette bobine est plongée dans un cryostat rempli d'hélium liquide à 4,4° K (température nécessaire pour que se manifeste la supraconduction). Enfin, ceignant l'ensemble, se trouve un blindage qui réduit considérablement le champ de fuite. Le projet, décrit en détail dans le COURRIER CERN vol. 7, page 143, a subi depuis lors différentes modifications et les principaux paramètres n'en ont été arrêtés « irréversiblement » qu'à la fin de 1968, date à laquelle une dernière retouche a été apportée aux appels d'offres adressés à l'industrie.

C'est pourquoi il est opportun de revenir sur l'article du COURRIER CERN d'août 1967 pour faire le point des derniers changements intervenus et synthétiser les résultats obtenus avec les 2 principaux « bancs d'essais » de la BEBC que sont la maquette de 1 m et l'aimant supraconducteur expérimental Braracourcix.

Configuration définitive de la grande chambre

Deux des changements principaux apportés aux plans de la grande chambre portent sur l'enceinte à vide. Elle est prolongée notablement vers le haut et elle se présente désormais comme un cylindre dont le plancher et le plafond sont constitués par le blindage magnétique : il en résultera une meilleure accessibilité au dôme de la chambre, un opérateur pouvant y entrer par un trou d'homme. Pour éviter toute possibilité de feu ou d'explosion à l'intérieur du blindage magnétique, il a été décidé que l'espace compris entre le blindage et l'enceinte

à vide ne serait plus ventilé mais rempli d'azote, le pourcentage maximal d'oxygène admis étant de 5 %. Un opérateur spécialement équipé pourra y pénétrer pour des interventions exceptionnelles. Un troisième point porte sur le système d'évacuation d'urgence des 33 m³ d'hydrogène liquide de la chambre ; en cas de nécessité, une partie du liquide peut être dirigée, après réchauffage, dans des ballons gonflables.

Enfin, en vue des exigences de l'aimant, un nouveau schéma de principe a été proposé pour le réfrigérateur. Au lieu de deux réfrigérateurs séparés classiques, une installation combinée à hélium et

hydrogène est prévue. Celle-ci comportera un circuit principal à hélium produisant du froid par travail extérieur dans des turbines et par détente Joule-Thomson ainsi qu'un circuit secondaire à hydrogène, prérefroidi par le circuit principal, comportant un étage Joule-Thomson mais pas de turbines. La concentration des capacités de compression et des turbines dans le circuit hélium garantit une grande sécurité de fonctionnement du circuit aimant (en priorité à la chambre) et une mise à froid accélérée des bobines. La nouvelle solution semble être moins chère que la solution classique.

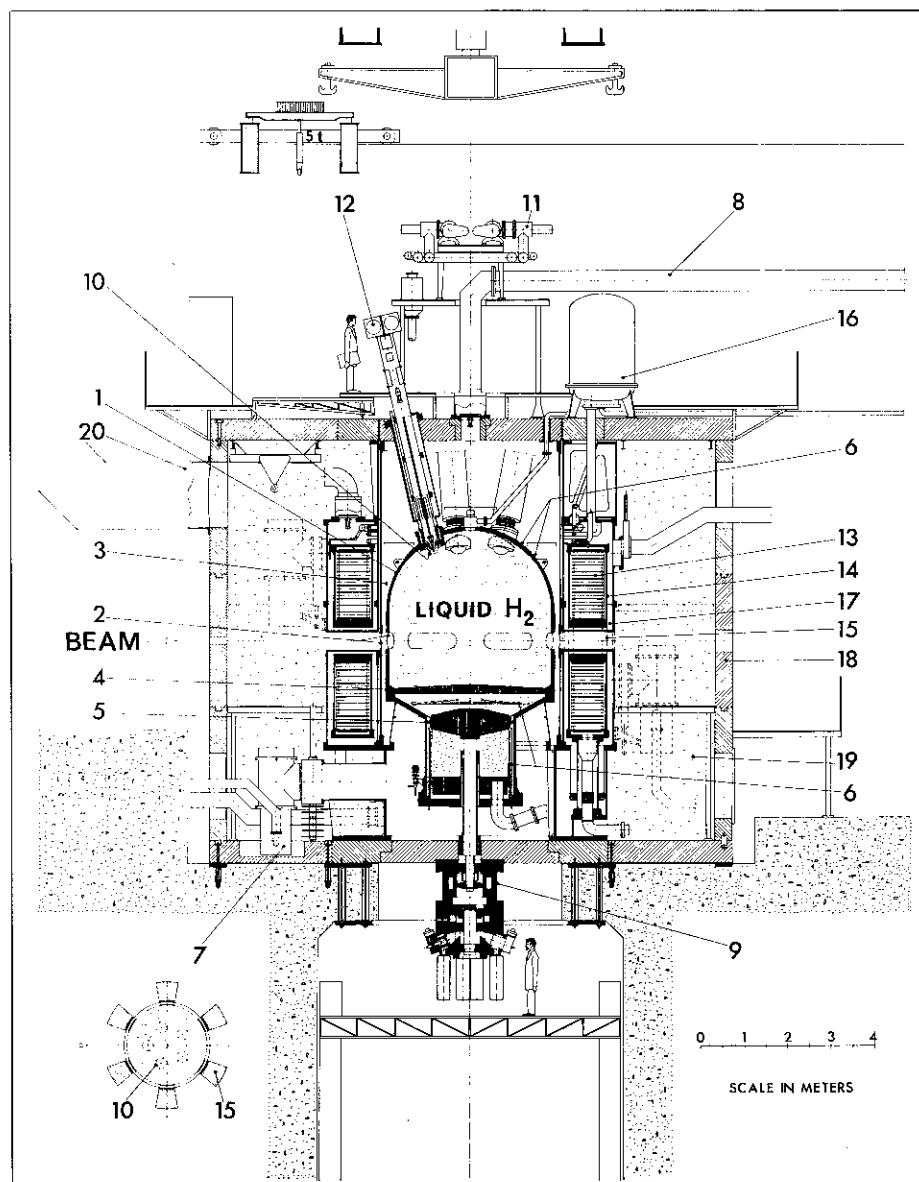


Tableau comparatif des offres pour le ruban supraconducteur

	No	1	2a	2b	3	4	5	6
— Echantillon	—	CGE	CFTH	CFTH	SSW	BBC	IMI	SUP*
— Soumissionnaire	—	F	F	F	D	CH	GB	USA
— Pays d'origine	—	Al+Cu	Al+Cu	Cu	Cu	Cu	Cu	Cu
— Type de stabilisants	—	0,059	0,035	0,03	0,032	0,09	0,44	2
— Section d'un filament SC	mm ²	79	260	260	224	116	54	18
— Nombre de filaments	—	28	51	42	43	67	156	235
— Poids de supraconducteur	g/m							
— Densité de courant dans le supraconducteur au courant nominal	A/mm ²	1500	780	730	790	550	240	160
— Section du stabilisant	mm ²	130	160	157	177	172	159	143
— Résistivité du stabilisant pour B = 0 T ; $\sigma = 0$ kg/mm ²	10 ⁻⁸ x Ω cm	0,6	1	1	1,16	0,6	0,9	1,33
— Poids total du conducteur	g/m	673	840	1600	1620	1600	1580	1515
— Longueur totale du conducteur	km	52,5	52,5	65,5	65,5	65,5	65,5	65,5
— Longueur unitaire sans soudure	m	1560	1560	1560	780	180	130	200
— Courant critique min. pour une induction // de 5,1T et $\perp$ de 3,8T	kA	8	8	6,45	6,45	6,45	6,45	6,45

* SUP = Norton International Supercon Division

Les contrats

Les quatre contrats principaux relatifs à la grande chambre ont été approuvés lors des sessions du Comité des Finances des 4 février et 11 mars.

1) Ruban supraconducteur

Il s'agit d'un ruban de 61 mm x 3 mm de section et de 65 km de longueur constitué à partir d'un ruban de cuivre dans lequel sont noyés des fils supraconducteurs en alliage de niobium-titane. Ce ruban refroidi à 4,2°K et exposé à un champ magnétique maximal de 59 kG pourra transporter un courant de près de 7000 A qui créera un champ magnétique de 35 000 gauss au centre de la chambre. Le contrat a été adjudé par moitié aux firmes Siemens (RSA) et Thomson-Houston (France) qui ont fait les offres les moins disantes. Il va de soi que les caractéristiques électromagnétiques des deux rubans seront rigoureusement semblables.

Le coût global du contrat est de 7,3 MFS (3,65 MFS par firme). La période contractuelle de livraison s'étale de septembre 1969 à juin 1970.

2) Chaudronnerie

Cette fourniture se subdivise en deux ensembles distincts représentant au total 350 t d'acier

- le corps de chambre avec sa suspension et son enceinte à vide ;
- les cryostats des bobines supraconductrices et l'enceinte à vide correspondante.

Un contrat de 2,7 MFS pour la fourniture de la chambre et de l'enceinte à vide a été adjudé à Thyssen (RFA) et le second, de 3,3 MFS, pour la fourniture des cryostats et de l'enceinte à vide à Alstom — Neyrpic (France) ; il s'agit dans les deux cas de l'offre la moins disante : les livraisons s'étaleront d'avril 70 à novembre 70.

Les deux fabricants recourent à des procédés

de soudure différents ; automatique chez Thyssen et manuel chez Alstom-Neyrpic. Dans les deux cas il est nécessaire d'effectuer des contrôles en cours de soudure, soit par radiographie, soit par ultrasons. Alstom-Neyrpic met actuellement au point une technique de soudure des pièces de forte épaisseur par bombardement électronique, beaucoup plus rapide et élégante (1 m à la minute contre 1 m en 25 h.) que la soudure manuelle mais qui nécessite une grande précision dans l'usinage des pièces avant soudure. Cette technique sera substituée à la soudure manuelle si elle est parfaitement au point au moment de la mise en fabrication.

3) Installation de réfrigération

Cette installation doit assurer les fonctions suivantes :

- purification et liquéfaction des fluides requis pour le remplissage de l'aimant et de la chambre ;
- refroidissement de l'aimant et de la chambre à bulles de la température ambiante jusqu'à la température d'opération ;
- réfrigération en continu ;
- réchauffage de la chambre à bulles et de l'aimant.

La réfrigération en continu de la chambre à bulles et de l'aimant en conditions opérationnelles constitue la marche normale de l'installation frigorifique.

Le contrat a été passé à la firme Sulzer (Suisse) qui a fait parvenir la soumission la moins disante à la date de clôture de l'appel d'offre.

Le montant du contrat est de 5,017 MFS. L'installation devra être en place au CERN et réceptionnée pour le 31 octobre 1970.

4) Enceinte magnétique

Il s'agit d'une enceinte de 2000 t d'acier doux entourant l'ensemble de la chambre et ayant pour but de réduire le champ de fuite.

Le contrat a été attribué à la firme CAFL (France) qui a fait l'offre la moins disante (3,742 MFS). La livraison doit s'étaler entre janvier 1970 et février 1971.

Choix du supraconducteur

L'aimant supraconducteur de la grande chambre constituera la plus grosse unité du genre jamais construite, par la densité du champ magnétique (35 kG contre 20 kG pour la grande chambre d'Argonne qui est de dimensions voisines), par la taille et par l'énergie emmagasinée.

Rien n'empêcherait théoriquement d'utiliser pour l'aimant (dont le champ englobera un volume intérieur total de 70 m³) les solutions classiques. Toutefois de simples considérations de consommation d'énergie se sont montrées déterminantes. Là où un aimant aurait consommé 56 MW pour les pertes joules et 1,2 MW pour le refroidissement, soit au total près de 2 fois la consommation actuelle du CERN, l'aimant supraconducteur consommera moins d'un MW dont la quasi totalité pour la réfrigération, les pertes par effet joule dans les enroulements supraconducteurs étant réduites à 200 W, y compris les pertes des connexions intérieures et des amenées de courant. 56 000 000 W contre 200 W : la comparaison est parlante. Si la supraconduction est légèrement plus onéreuse du point de vue investissement, on se rattrape vite sur la consommation car pour 5 000 heures de fonctionnement, l'aimant classique dépenserait pour 17 M francs suisses d'électricité contre 0,6 M francs suisses pour le supraconducteur.

D'autres facteurs ont joué en défaveur de la solution classique, tels que l'énorme consommation d'eau de refroidissement. Pour le ruban supraconducteur, 13 sociétés d'Europe et des Etats-Unis furent invitées en 1967 à manifester leur intérêt. Finalement le CERN reçut sept échantillons de 6 firmes différentes : 2 de rubans stabilisés à l'aluminium et 5 de rubans stabilisés au cuivre.

La plupart de ces échantillons ont été essayés au CERN dans Braccourcix, l'aimant supraconducteur expérimental de 60 kG et 2 MJ d'énergie stockée. (Voir COURRIER CERN vol. 8, page 23). On a ainsi pu lancer en mai 1968 la première spécification pour la fourniture du ruban supraconducteur de la grande chambre.

Tenant compte des conditions d'environnement thermique et magnétique, de la contrainte mécanique et de la structure de l'enroulement, le CERN a rédigé une spé-

A gauche : tableau des principaux paramètres des 7 échantillons de ruban supraconducteurs soumis.

A droite : photo des 7 échantillons montrant la taille et la disposition des filaments de Nb-Ti.

cification technique imposant un certain nombre de paramètres.

L'examen des réponses reçues en juillet 1968 conduisit à modifier la section qui fut réduite de 88 X 3 mm à 61 X 3 mm en raison de considérations relatives aux problèmes de bobinage si bien que la sélection du fournisseur requit un deuxième appel d'offres lancé en octobre 1968. Nous donnons dans le tableau de la page 64 les principales caractéristiques des offres envoyées par les 6 firmes ainsi qu'en figure 1 les coupes des différents rubans proposés.

Les fils supraconducteurs, noyés dans le cuivre (ou l'aluminium dans le cas des deux échantillons de gauche) sont tous faits d'alliage de niobium-titane (la proportion en poids du titane varie de 40 à 60 % selon les firmes). Cet alliage a été choisi parce qu'il est supraconducteur à la température de l'hélium liquide, relativement bon marché, facilement maniable et qu'il présente un comportement électro-magnétique favorable (maintien de l'effet de supraconduction en présence d'un champ magnétique élevé).

Les principaux critères de sélection du ruban étaient les suivants :

- 1) minimum de soudures par galettes, soit par tranche de 1600 m de ruban.
- 2) isotropie du conducteur de Nb/Ti vis-à-vis du champ magnétique (les fils de section ronde étant les meilleurs de ce point de vue).
- 3) bonne liaison entre le conducteur et le stabilisant.
- 4) bonne tenue mécanique (en effet les forces qui s'exercent sur chaque spire des galettes sont considérables en raison du champ magnétique. Cela se traduit par une forte traction sur le ruban, environ 10 kg/mm² aux points les plus sollicités. La résultante des forces axiales correspond à une force d'attraction de 9000 t entre les deux bobines.
- 5) niveau de prix.

Quant à la structure des enroulements, elle se base en partie sur des études faites à Brookhaven et objet au CERN d'un important développement, et sur des mesures de laboratoire confiées à deux firmes européennes l'Air Liquide (France) et British Oxygen (Grande-Bretagne) portant en particulier sur le comportement thermique de la structure et l'influence de la configuration des enroulements sur l'évacuation de la chaleur.

L'étude et la mise au point de ces matériaux entièrement nouveaux ont demandé des travaux de développements industriels importants. Les firmes ayant

participé à cet appel d'offres ont fait preuve d'un excellent esprit de coopération dont le CERN se félicite.

La maquette de 1 m

Depuis juin 1968, la maquette de 1 m de la grande chambre qui comporte un grand nombre des éléments du projet définitif (à l'exception du bobinage supraconducteur) est soumise à des essais (voir COURRIER CERN vol. 8, page 129).

Il a été possible de recueillir beaucoup de renseignements, de confirmer la plupart des solutions adoptées et dans quelques cas de trouver des solutions meilleures.

Faisons rapidement le tour des différentes questions :

— Scotchlite : c'était la première fois qu'on utilisait ce type de revêtement dans une chambre à grande épaisseur d'hydrogène : les doutes qu'on pouvait avoir quant à la netteté des traces des particules ont été levés.

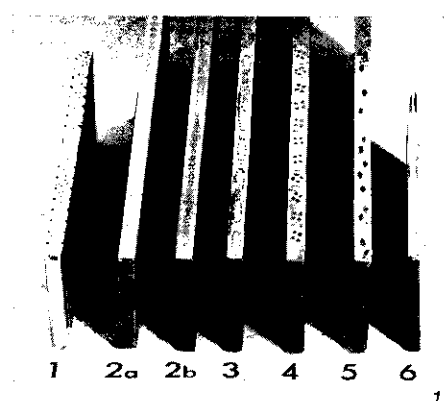
— Bulles : la photographie sur fond brillant oblige à prendre les photos lorsque les bulles ont atteint une taille d'au moins 700 μ (contre 300 μ environ pour les chambres usuelles) d'où normalement un temps de formation des bulles plus long favorisant la dérive et nuisant à la précision des mesures, mais il a été possible d'accroître la vitesse de formation des bulles en travaillant à une température d'hydrogène plus basse. En général on fait fonctionner les chambres à hydrogène à 26° K. Sous ces conditions, les bulles ont 300 μ de diamètre environ 1 ms après le passage des particules et il faudrait attendre 4 ms pour obtenir des bulles de 600 μ de diamètre.

La plupart des photos de la maquette ont été prises à 25° K, le délai étant 2 à 3 ms pour des bulles de 600 μ . Ce délai est encore plus court quand on abaisse davantage la température de la chambre. Toutefois, il n'était pas possible de sensibiliser la chambre au-dessous de 24° K.

Conditions de fonctionnement

Le fonctionnement à basse température n'a été possible qu'en raison de l'excellent comportement des échangeurs, de la configuration de la chambre et de la bonne étanchéité du piston, autant de facteurs qui réduisent la formation des bulles parasites.

Les expériences avec la maquette permettent déjà d'affirmer qu'une opération de la grande chambre sera possible avec une puissance frigorifique très acceptable même pour une détente relativement lente



(40 ms ou plus) à un taux de répétition élevé (2 c/s ou plus).

Turbulences thermiques

On a étudié les caractéristiques thermiques de la maquette. Pour cela on a utilisé :

- 1) les mesures (au moyen d'un hodoscope à photodiodes) des déviations d'un rayon laser sous l'effet des gradients thermiques;
- 2) les photographies du rayon laser et d'un trait droit sur le fond de la chambre. Une sonde thermique, mobile à l'intérieur de la chambre, à très grande vitesse de réaction (1 ms) est en cours de mise au point pour le prochain essai.

On a aussi remarqué que les turbulences thermiques, très faibles pendant la détente, n'apparaissent qu'après 40 ms (donc bien après la prise de la photo).

Hublots « fish-eye »

Les hublots hémisphériques (« fish-eye ») ont été montés dans la chambre pour la première fois, après une longue série d'essais statiques. Les joints collés avec une colle epoxy/aluminium sont restés parfaitement étanches. Cette méthode simple sera définitivement adoptée pour la grande chambre après ce succès.

Une petite difficulté venait du fait qu'une légère fuite dans la tuyauterie extérieure a laissé entrer des traces d'azote qui se sont condensées sur la face interne du hublot de la chambre, ce qui donne une diffusion parasite de la lumière.

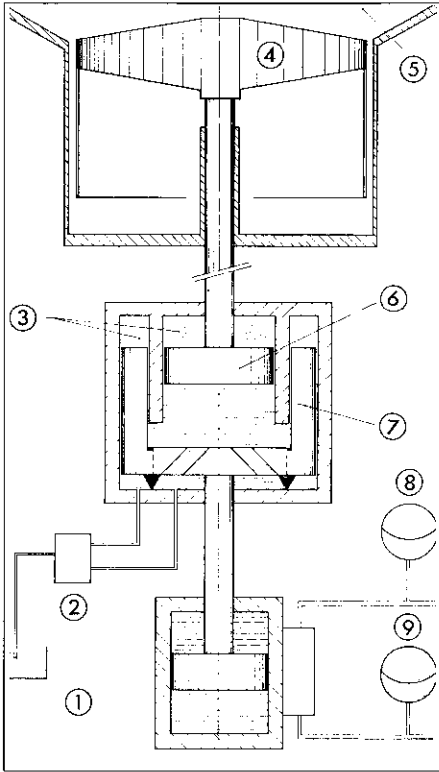
Ce phénomène de dépôt sur les hublots est toujours la « bête noire » des gens qui s'occupent des chambres à bulles. En général, il faut vider la chambre et la réchauffer un peu pour faire disparaître le dépôt.

On a profité de cet incident dans la maquette pour essayer une méthode rapide de nettoyage. Le fish-eye est raccordé à un vide séparé du vide principal de la chambre. On peut donc remplir l'espace entre les hublots avec de l'hélium gazeux sans casser le vide principal et sans vider la chambre. Il suffit de baisser le niveau de l'hydrogène liquide juste en dessous du fish-eye pour qu'un courant d'hélium chaud puisse faire évaporer l'azote condensé dans un délai de 15 minutes au maximum.

On peut se permettre une telle opération grâce à la séparation des vides et grâce à l'utilisation des hublots en quartz qui supportent bien les grandes différences de température créées pendant ce procédé de nettoyage.

Moteur de détente de la BEBC avec son système de compensation des forces dynamiques. On a 1) remise d'énergie, 2) verrouillage, 3) ressorts gazeux, 4) piston froid, 5) chambre, 6) piston moteur, 7) contre-masse, 8) accumulateur haute pression, 9) accumulateur basse pression.

1. Presse film du nouveau système de transport de la pellicule. C'est sur la plaquette rectangulaire, faite de tubes de verre accolés par soudure que se fait le placage du film par dépression. Les cylindres noirs protègent les vannes du circuit pneumatique contre le champ magnétique.



Système de détente, contrôle, télécommande

La maquette a en outre permis de confirmer la validité de l'implantation basse du piston et de mettre au point les principaux éléments du système de détente, le système de contrôle et les systèmes de télécommande.

Piston et disque

La structure du piston de la maquette (en nid d'abeilles plastique) ne sera pas directement extrapolable à la grande chambre ; néanmoins on a déjà pu adopter plusieurs solutions définitives telles que le déplacement des segments d'étanchéité vers le haut et leur montage sur le corps de la chambre. Quant au disque, il ne sera mis en place dans la maquette que prochainement.

Enfin les différents essais de la maquette ont rodé les équipes et lors de la mise en marche de la grande chambre en 1971, l'expérience accumulée constituera un atout majeur.

Détente de la BEBC

Dans les chambres à bulles, les forces dynamiques engendrées par le système d'expansion lors de chaque pulsation créent des vibrations importantes en raison

des très grandes accélérations dues à la faible période du cycle expansion-recompression et à l'importance des masses déplacées. Sur la grande chambre à bulles de 2 m du CERN, en raison de la masse réduite du piston (de l'ordre de 60 kg), l'absorption des vibrations reste un problème relativement facile, résolu par la fixation du système de détente sur la masse importante (600 t) que constitue le fer de l'aimant.

Dans le cas de la grande chambre à bulles à hydrogène de 3,70 m du CERN la masse déplacée atteint près de 2 tonnes ce qui, compte tenu de la course de 145 mm du piston et de la période des pulsations, engendre une force dynamique de 345 t. L'importance de ce chiffre a conduit le CERN à proposer une solution permettant de réduire considérablement ces efforts en recourant à une méthode présentant quelques analogies avec le principe du canon sans recul. Il s'agit d'utiliser une « contre-masse » égale à la « masse principale » constituée par le piston froid et le piston moteur, mais animée d'un mouvement de translation parallèle et de sens opposé à celui du piston moteur auquel elle est liée par un volume d'huile. La résultante des forces dynamiques du système masse — contre-masse est donc nulle.

Les efforts intervenant pendant le cycle se limitent aux forces de liaison chambre/système d'expansion, soit au maximum à 140 t.

Le système de remise d'énergie qui compense les pertes de toutes natures (frottement, pertes hydrauliques, irréversibilité thermodynamique au sein de l'hydrogène...) a une puissance de 700 kW.

Programme

Le groupe hydraulique dont la livraison est prévue pour avril 1970 est réalisé par l'industrie. Le système d'expansion lui-même est partiellement réalisé au CERN et partiellement à l'extérieur ; ses essais doivent commencer à la fin de 1970.

Un prototype à échelle réduite du système d'expansion va être expérimenté à partir de mai 1969. Les essais permettront notamment de vérifier la conception du système et l'exactitude des calculs analogiques réalisés parallèlement pour le prototype de la grande chambre. La partie électronique employée pendant ces essais sera réutilisée par la suite pour le système d'expansion de la grande chambre.

Nouvelles du CERN

Suppression de la session du Conseil

La session du Conseil prévue pour les 12 et 13 mars a été annulée. Il s'est avéré nécessaire de réorganiser le calendrier des décisions concernant le projet de 300 GeV. Comme ces décisions doivent être différées, la session spéciale du Conseil de mars devenait sans objet. La prochaine session du Conseil se tiendra comme d'habitude en juin (19, 20).

Cyclage rapide de la chambre de 2 m

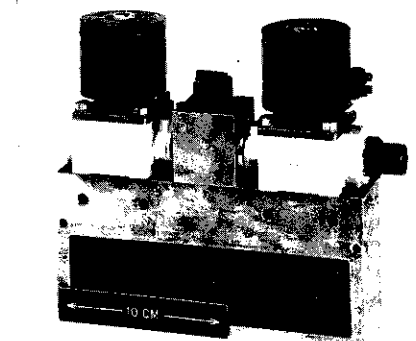
Le 13 mars a commencé une période d'exploitation de la chambre à bulles de 2 m à raison de 2 détenteurs séparées par un intervalle de 150 ms par cycle.

C'est pendant l'arrêt de l'été 1968, alors que la chambre subissait sa révision annuelle qu'ont été opérées les modifications nécessitant le démontage de la chambre si bien que depuis la remise en marche du PS, à la fin d'octobre 1968, l'essentiel du nouveau système fonctionne ; il n'a cependant été utilisé qu'à raison d'une détente par cycle tandis que se poursuivaient les préparatifs relatifs aux équipements extérieurs.

Ce cyclage double permettra de mener plus rapidement certaines expériences requérant par exemple des conditions particulières d'alimentation de la chambre.

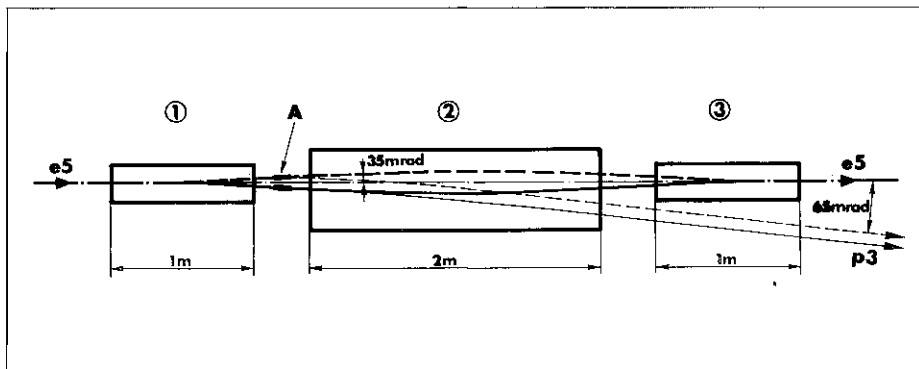
Les modifications ont porté sur les points suivants :

1. système de transport de film entièrement nouveau environ 20 fois plus rapide permettant de passer d'une image à une autre en 85 ms. L'entraînement assure une précision de positionnement de 1 mm. Les presse-films (voir fig. 1) sont des plaques de 25 mm. d'épaisseur percées de tout



2. Cycle actuel d'exploitation du PS. Les 2 paquets de protons alimentant la 2^e m sont prélevés à 15 GeV pendant le premier demi-palier. L'énergie du PS passe ensuite à 19 GeV pour alimenter la chambre à bulles à liquides lourds (5 paquets) puis le faisceau est dégroupé pour alimenter les expériences électroniques.

3. Les traits gras représentent la trajectoire des protons et les traits fins celles des particules secondaires, les traits continus correspondent à l'extraction de particules négatives (cas de l'expérience) et les pointillés à l'extraction de particules positives.



3.

petits trous où on établit une dépression d'environ 0,8 kg/cm² pour plaquer le film et une légère suppression formant coussin d'air pendant la translation. La surface de succion représente ainsi 40% de la surface totale contre 3% pour les presse-films ordinaires. De plus la longueur des bobines a doublé de façon à conserver un rythme de chargement acceptable, compatible avec la facilité de maniement (15 kg).

2. En 1967 l'expérience montrait que moyennant certaines modifications, les flashes utilisés jusqu'alors pouvaient fonctionner en cyclage rapide. C'est ainsi qu'en 1968 le temps de charge des condensateurs de 140 mF, 5 kV (qui constituent la source de puissance des flashes) a été réduit à 80 ms par l'installation de 3 nouveaux groupes de transformateurs et redresseurs.

Les lampes elles-mêmes ont changé de silhouette, car pour dissiper 1,7 k Joules par décharge, têtes et socles de lampes ont dû être transformés en véritables ailettes de radiation. Pour éviter l'auto-allumage, favoriser le refroidissement et régénérer le mélange argon-hélium utilisé dans les tubes, une circulation forcée du gaz a été greffée sur les lampes.

3. Le système de détente du type non oscillant a été doté de nouvelles vannes électromagnétiques plus rapides et d'un tout nouveau circuit de commande.

Pour satisfaire une utilisation aussi intensive, de nouveaux réservoirs tampons et un nouveau circuit pneumatique (haute et basse pression) ont été installés sur la plateforme principale de la chambre.

4. Nouvel échangeur plus puissant destiné à la reliquéfaction des bulles après la détente. Son efficacité a évité une augmentation de l'amplitude des mouvements du piston comme cela a été le cas ailleurs lorsqu'on a accru le nombre des détenteurs par cycle.

Utilisation

Pour la production des π^- à 9 GeV, on utilise un faisceau à 15 GeV/c. A cette énergie les π^- représentent plus de 99% des particules et il n'est pas nécessaire de recourir à un séparateur HF.

L'éjection est du type rapide, elle se fait sur un faisceau groupé, un des 20 paquets étant prélevé lors de chaque détente (90% de l'intensité du faisceau reste donc disponible pour d'autres expériences) sitôt la fin de la deuxième impulsion on augmente l'énergie du faisceau jusqu'à 19 GeV, pour alimenter la chambre à liquides lourds et pour les expériences électroniques.

Il n'est pas possible pour le moment d'utiliser l'intervalle séparant les deux détenteurs pour alimenter une autre expérience.

On pourrait avec le nouveau système monter jusqu'à 4 détenteurs par cycle mais cela reviendrait dans les conditions actuelles à consommer tout le faisceau de la machine pour une seule expérience.

Pour cette expérience le calculateur qui depuis octobre 1968 est « en ligne » sur les installations de la chambre et du faisceau adjacent est très sollicité.

En plus du programme normal — de scrutation périodique des paramètres de la chambre et du faisceau ; — de la surveillance des limites et du réseau d'alarmes ; — et du « Logging », le calculateur a pris en charge du moins partiellement le contrôle de la qualité des photos produites. En effet, deux boucles de régulation peuvent désormais être entièrement sous le contrôle du calculateur, il s'agit de la régulation d'amplitude et de la position du P (chute de pression dans la chambre au moment de la détente). Durant cette expérience la double détente le calculateur applique les corrections calculées, aux expansions correspondantes des cycles suivants. En ce qui concerne la surveillance

du faisceau la distribution du nombre de particules entrant dans la chambre peut être délivrée par le calculateur sous forme d'un histogramme double attaché aux premières ou deuxième détenteurs.

Partage du faisceau par cibles en série

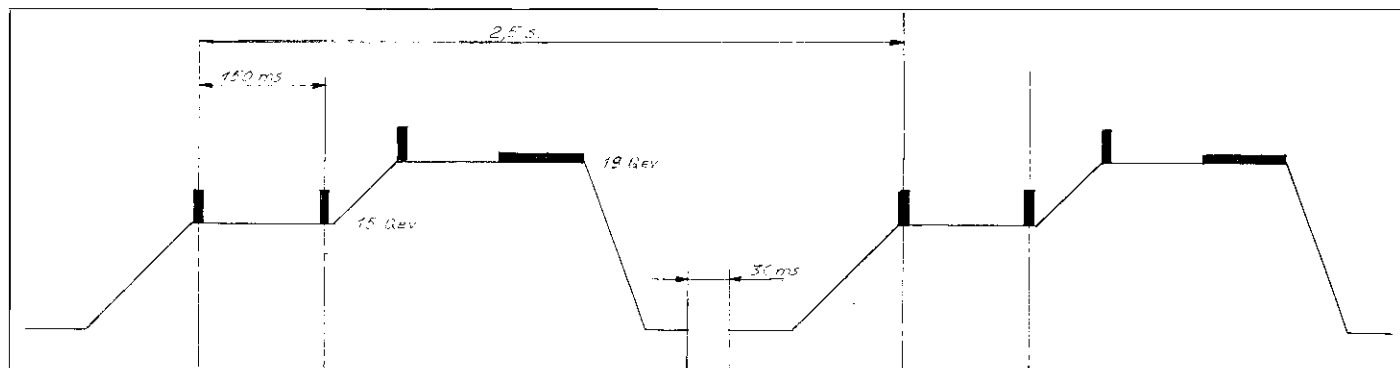
Une méthode simple de partage du faisceau éjecté de protons entre plusieurs cibles traversées successivement par le faisceau (en série), est utilisée sur le faisceau e5. On alimente ainsi la cible A qui donne naissance au faisceau de particules secondaires P3, puis 2 cibles placées en parallèle plus en aval.

On avait envisagé il y a plusieurs années cette méthode pour les cibles internes mais elle se révéla inapplicable faute de place suffisante.

Les avantages de ce montage, suggéré par les besoins des utilisateurs, résident : 1) dans sa simplicité ; 2) dans la possibilité de produire un faisceau de particules secondaires à haute énergie selon un angle de production nul ou très faible ; 3) dans la répartition des protons entre les cibles selon un pourcentage choisi ; 4) dans l'obtention d'une bonne acceptation angulaire (quadrupôle proche de la cible) ; 5) dans la haute efficacité d'exploitation des protons.

L'idée principale consiste à placer la cible entre le premier et le second aimant et non pas en amont du premier aimant. Ainsi, les particules secondaires peuvent être extraites sous un angle relativement élevé, compte tenu de la déviation initiale des protons dans le premier aimant.

Suivant le sens du champ des aimants, il est possible d'extraire des particules secondaires négatives (selon un angle de production nul), ou positives (selon un angle de production de 35 mrad).



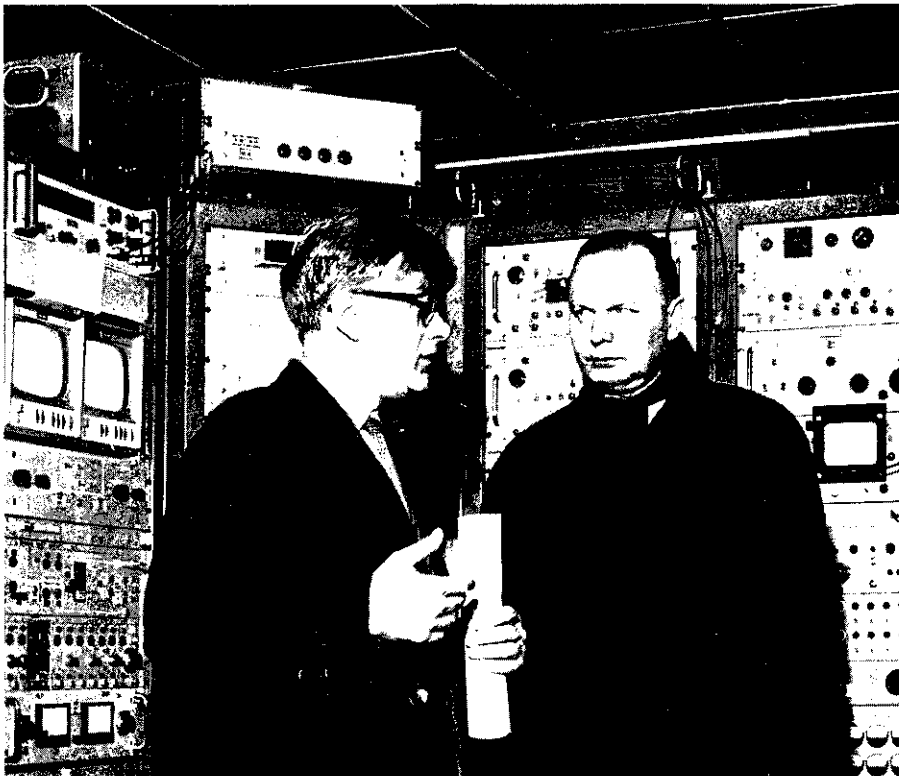
2.



CERN/PI 55.3.69

Parmi les personnalités qui ont visité le CERN au mois dernier, citons : Photographies du haut — M. G.H. Veringer (à droite), Ministre de l'éducation et des sciences des Pays-Bas, s'entretient avec le professeur B. Gregory (au centre), Directeur général du CERN, et le Professeur H.B.G. Casimir.

Photographie du bas — Monsieur l'ambassadeur Boyesen (à droite), Député délégué de la Norvège auprès du Conseil du CERN, s'entretient avec M. K. Johnsen, Directeur du Département de construction des ISR.



CERN/PI 282.2.69

Transformation des courants de faisceaux

L'un des appareils classiques utilisés pour mesurer l'intensité des faisceaux dans les accélérateurs de particules est le « transformateur de courant de faisceau ». Dans ce dispositif, le faisceau de particules passe par un trou pratiqué au centre d'un toroïde de perméabilité élevée qui fait fonction d'enroulement primaire de transformateur à un seul tour. Un enroulement secondaire, comportant généralement de

nombreux tours et enveloppant le toroïde, permet ensuite d'obtenir un signal proportionnel à l'intensité du faisceau. Les avantages de ce type d'appareil sont l'absence de perturbations du faisceau, un étalonnage facile (grâce à un enroulement supplémentaire sur le toroïde) et une grande précision.

Un tel transformateur est très simple, mais ses performances sont très limitées s'il est utilisé seul. Il n'est pas très sensible et ne fonctionne que dans une gamme de fréquences restreinte. Afin d'éliminer ces inconvénients, on a mis au

point des circuits électroniques très étudiés, qui sont utilisés conjointement avec les transformateurs. Dans ce domaine, le CERN a probablement fait plus que les autres laboratoires et les efforts ont donné d'excellents résultats.

Au PS, des transformateurs sont en service dans l'injecteur, l'anneau principal et les lignes d'éjection. Leur emploi est également prévu dans les anneaux de stockage à intersections.

Fondamentalement, les transformateurs répondent à des changements de courant (il s'agit d'appareils c.a.). Leur utilisation dans l'injecteur ne pose donc en principe aucun problème, car ils ont à contrôler des impulsions de protons d'une durée de quelques microsecondes. En revanche, l'exigence d'une sensibilité élevée entraîne certaines difficultés. Depuis quelque temps, des transformateurs font partie d'un système qui permet de mesurer, pour le faisceau de 50 MeV, la dispersion d'énergie à la sortie du linac (voir COURRIER CERN, vol. 9, page 7).

Dans l'anneau, les exigences sont plus strictes — les transformateurs doivent être capables de contrôler de brusques changements d'intensité (nécessitant une réponse haute fréquence de la part des circuits électroniques) et de mesurer l'intensité du faisceau pendant toute la durée du cycle d'accélération de l'ordre d'une seconde (ce qui nécessite une réponse basse fréquence).

K. Unser a mis au point un appareil de mesure qui convient pour des fréquences de 30 MHz lors de fluctuations rapides, et également pour des fréquences basses limitées par une constante de temps d'environ 4 heures, c'est-à-dire beaucoup plus longue que la durée du cycle d'accélération. Il comporte deux canaux — l'un pour les hautes et l'autre pour les basses fréquences — qui ont chacun leur propre transformateur, et les canaux sont couplés de telle façon qu'il y ait entre eux une liaison automatique et continue permettant de couvrir toute la gamme de fréquences.

S. Battisti et R. Bertolotto ont conçu des transformateurs destinés au contrôle des faisceaux d'extraction rapide. Au synchrocyclotron également, R. Hohbach et S. Mango ont réalisé des appareils de mesure d'une grande sensibilité — de l'ordre de $0,5 \mu A$ — pour la ligne d'extraction du faisceau de protons. Il se pose pour ces faisceaux un problème particulier lorsque le courant de faisceau est très faible et on ne dispose pas encore d'un appareil précis pour les faisceaux d'ex-

De l'interaction forte

Cet article rédigé par un des auteurs de la Théorie dite « modèle de l'octet », a paru pour la première fois dans « Science Year 1968 ». Il est reproduit ici avec l'aimable autorisation de l'éditeur.

Yuval Ne'eman

traction lente qui ont un long temps de déversement.

Les difficultés sont plus nombreuses encore lorsqu'il s'agit de contrôler le faisceau dans les anneaux de stockage. L'objectif est de doter les ISR d'un appareil qui soit capable de mesurer le courant de faisceau total emmagasiné (avec des valeurs allant jusqu'à 20 A et une circulation durant de longues heures) et soit également sensible à de légères modifications, en sorte qu'il soit possible de contrôler l'addition d'une impulsion (soit 50 mA) en provenance du PS au cours du processus d'emmagasinage, et de détecter toute perte de faisceau. A la Conférence sur les Accélérateurs de particules tenue à Washington le 7 mars, Unser a fait le point de ces recherches dans une communication intitulée « transformateur de courant de faisceau c.c. pour des fréquences allant jusqu'à 200 MHz ».

Le fonctionnement de l'appareil est possible dans le cas du c.c. (pour mesurer le faisceau circulant dans les ISR), si l'on ajoute un modulateur magnétique au système déjà employé au PS (pour mesurer des fluctuations rapides). Il consiste en une paire de toroïdes qui sont excités par un oscillateur auxiliaire dans des sens opposés, si bien que leurs signaux, produits dans un enroulement enveloppant les deux toroïdes, s'annulent. Le passage d'un faisceau entraîne une asymétrie déterminant un signal de sortie proportionnel au courant de faisceau.

Un prototype a donné des résultats très encourageants. On avait utilisé pour les essais des courants pouvant atteindre 20 A, et une large gamme de fréquences descendant jusqu'au c.c. La précision a été d'environ 0,01 %.

Chaque anneau des ISR sera pourvu de deux de ces appareils, dont les signaux seront transmis à l'ordinateur de commande. Il y aura lecture digitale directe ou d'autres formes d'information (par exemple un enregistrement graphique continu des données).

Cette technique des transformateurs à c.c. est susceptible d'autres applications ; elle pourrait notamment permettre de mesurer avec précision le courant d'alimentation des aimants.

Quand Jules Verne, ce visionnaire, a décrit en 1865 le lancement du premier vaisseau spatial habité, dans son roman de science fiction « De la Terre à la Lune », il a donné à la « Columbiad », l'énorme canon du Capitaine Barbicane, une longueur de 270 m. Lorsque la poudre qui remplissait un quart du canon fut mise à feu, le projectile atteignit en un instant, avec un souffle à faire trembler la terre, la vitesse de 12 000 mètres par seconde nécessaire pour échapper à l'attraction terrestre ; ce fut le début mouvementé d'un remarquable voyage sur la lune.

En 1968, la prophétie de Verne est devenue réalité. Des hommes d'un autre siècle construisent la fusée lunaire Saturne V, la plus puissante machine jamais construite, pour emporter vers la lune le vaisseau spatial Apollo. Pour vaincre l'énorme force de l'attraction, les moteurs de Saturne brûlent presque 15 000 litres de carburant et de carburant à la seconde.

L'homme a ainsi appris à vaincre la pesanteur c'est-à-dire l'énorme force des atomes terrestres. Mais au sein de chaque petit atome existe une force beaucoup plus grande — la force électromagnétique. Imaginons que de microscopiques spécialistes des fusées microscopiques, vivant à l'intérieur d'un atome, veuillent faire échapper un électron de charge négative à la force d'attraction électromagnétique d'un noyau atomique de charge positive. Ils auraient besoin de 10 000 fois plus de carburant que pour envoyer un seul électron de la terre à la lune. Autre exemple pour illustrer la puissance de cette force : imaginons qu'un diabolon de l'ère planétaire ait pu arracher la totalité des électrons d'un dixième de millimètre cube du revêtement métallique de la cabine Apollo et les ait redescendus sur l'aire de lancement. La force électromagnétique qui attirerait alors les atomes du revêtement ainsi chargés positivement vers les électrons situés au sol serait si irrésistible qu'à pleine puissance la poussée de 3 400 000 Kg fournie par les moteurs de Saturne ne pourrait mouvoir le vaisseau spatial. Le diabolon, à la stupeur des astronautes, aurait rivalisé avec la force gravitationnelle de toute la terre avec seulement un millionième de gramme d'électrons.

Dans le noyau de l'atome, il existe une force encore plus intense que la force électromagnétique. Les savants connaissent cette force depuis un peu plus de 30 ans, et aujourd'hui, les études faites

pour la comprendre constituent le plus important défi lancé à la physique.

A Serpoukhov, en URSS, aux antipodes de la base des Saturnes située sur l'île Merritt en Floride, se trouve le plus grand accélérateur de protons du monde. Son faisceau de protons joue le même rôle que le premier étage d'une fusée. Mais dans le faisceau, chaque proton est accéléré jusqu'à une énergie 50 millions de fois supérieure à celle qu'il faudrait pour l'envoyer dans la lune ; il a une énergie cinétique de 76 000 électronvolts (76 000 MeV). Quand on voit l'énergie qu'il faut à Saturne pour vaincre la gravitation, on peut se faire une idée de l'importance de l'énergie à mettre en jeu lorsqu'il s'agit de vaincre la force nucléaire pour en permettre l'étude. Elle ne peut être communiquée, avec nos moyens actuels, qu'à de très petits objets.

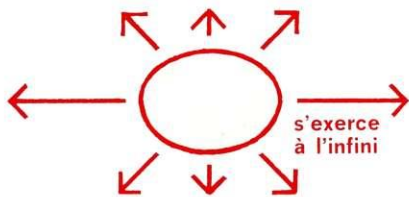
Quand un petit paquet de protons frappe une cible métallique, la collision donne naissance à une multitude de nouvelles particules minuscules appelées pions, kions et antiprotons. Ces particules sont séparées et rassemblées dans des faisceaux secondaires qui sont envoyés au plus profond du noyau de l'atome. De même que l'homme explore la lune, les particules de ces faisceaux secondaires explorent un monde nouveau, celui de la force nucléaire que les physiciens nomment l'interaction forte. Elle lie ensemble les neutrons et les protons dans les noyaux atomiques. L'attraction qu'elle exerce sur les particules est plus de cent fois plus grande que celle de la force électromagnétique, et 100, suivi de 35 zéros fois plus grande que la pesanteur.

Ces forces (gravitationnelle, électromagnétique et nucléaire, plus une force nucléaire faible mal connue) sont à l'origine de la variété, des modifications et de la beauté de l'univers. Sans elles, les choses s'ignoraient l'une de l'autre. Elles ne s'attireraient ni ne se repousseraient, elles ne se heurteraient pas mais passeraient sans effort l'une à travers l'autre. Comment des forces qui en quelque sorte agissent dans ce qui semble être un espace vide expliquent-elles ce phénomène ? Une des grandes découvertes théoriques dans le domaine de la physique nous fournit la réponse et nous permet de comprendre comment se comporte la force nucléaire.

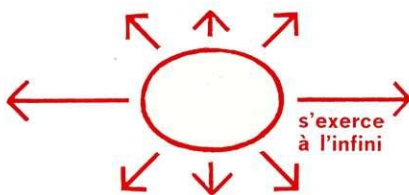
Quand les électrons se heurtent violemment, comme cela se produit dans le soleil ou dans le filament chaud d'une ampoule électrique, de petites quantités d'énergie cinétique sont libérées. Les élec-

les quatre forces

la gravitation



la force électromagnétique



l'interaction faible



l'interaction forte



trons ralentissent, en raison de la dispersion d'une partie de leur énergie cinétique. Ces petites quantités d'énergie cinétique, ou photons, portent la force électromagnétique qui met en mouvement les électrons de notre œil et fait que nous voyons.

Les photons devraient donc également transmettre cette force qui agit entre les deux particules chargées, même quand ni l'une ni l'autre ne bougent. Bien que la charge statique d'une chemise de nylon très sensible soit souvent gênante, elle constitue du point de vue scientifique un phénomène révélateur. En effet, la charge ne se déplace pas, et ne peut avoir aucune énergie cinétique ; et pourtant elle émet des photons. Nous le savons, parce qu'ils font dresser les poils de notre bras. Cependant, nous ne pouvons pas voir ces photons, même avec les meilleurs instruments de laboratoire.

Un grand principe de la physique, le principe d'incertitude, explique pourquoi nous pouvons observer certains photons sous la forme de quantités d'énergie alors qu'il est impossible de détecter l'énergie d'autres photons. Le photon est la plus petite quantité d'énergie mesurable. Il faut, pour le détecter, que toute son énergie nous atteigne et qu'elle agisse pendant un certain temps, (fonction de l'énergie).

On ne peut déceler un proton (comme toute autre particule d'ailleurs) que par l'effet des forces qu'il recèle. La gravitation qui s'exerce sur toute matière et dans toutes les directions jusqu'à l'infini, et contrôle les étoiles comme les galaxies. La force électromagnétique, bien plus considérable, qui s'annule à grande distance, étant donné que l'univers renferme un nombre égal de charges positives et de charges négatives.

Cette force contrôle le monde des atomes et des molécules. L'interaction faible ou force nucléaire faible qui existe sans qu'on en ait toutefois jusqu'ici découvert les particules-nucléaire, qui contrôle la plupart des effets se produisant dans le monde de la matière nucléaire et sub-nucléaire.

Le principe veut par exemple qu'un seul photon de lumière verte, ayant une énergie de 2×10^{-6} MeV, ne puisse être observé que si sa vie est supérieure à un millionième de milliardième de seconde (10^{-15}).

Aucun photon d'énergie mesurable ne peut être émis par la charge statique de notre chemise, mais des photons impossibles à observer librement à la vitesse de la lumière, et agir sur les poils. Ainsi, un flux de protons « virtuels » — ainsi nommés pour les distinguer des protons « physiques » que nous pouvons observer — transmet la force d'attraction ou de répulsion de la charge. Plus l'énergie d'un proton « virtuel » est faible, plus son action est longue. Donc, plus la distance entre deux charges est grande, plus les photons virtuels mettent de temps pour sauter de l'une à l'autre, plus l'énergie que peuvent posséder les photons est petite, plus la force qu'ils transmettent est faible. La force électromagnétique a un champ d'action infini ; tout photon virtuel même d'énergie infiniment faible produit par chaque charge atteint l'horizon de l'univers.

Cela est aussi vrai pour la force gravitationnelle. Son action est retransmise, également à la vitesse de la lumière, par des particules d'énergies : des gravitons. Bien qu'ils soient virtuels lorsqu'ils ne font que maintenir la terre sur son orbite autour du soleil, ils sont, selon la théorie, émis sous forme physique lorsque la matière est accélérée. Les gravitons doivent être extrêmement faibles. Ils n'ont jamais été observés.

Le principe d'incertitude explique clairement les répulsions et attractions entre les particules chargées et de gravitation entre toutes les masses. Mais quand le neutron a été découvert en 1932, il est vite devenu manifeste qu'une autre force devait le lier aux autres neutrons et protons dans le noyau. Le neutron ne possède pas de charge électrique et la pesanteur est beaucoup trop faible. En 1935, un physicien japonais, Hideki Yukawa évoqua cette nouvelle force, après avoir observé que son rayon d'action était extrêmement court. En effet, l'effet de la force nucléaire cesse brutalement à une distance d'un fermi (10 millièmes de milliardième de centimètre) à partir du centre des neutrons et des protons — les deux types de nucléons (particule lourde qui constitue tous les noyaux atomiques).

En se rappelant que les photons virtuels transmettent des forces électriques, Yukawa émit l'hypothèse que le secteur de cette force nucléaire devait être une

particule massive. Le premier, il supposa que la nouvelle force ne pouvait se propager plus vite que la lumière, ce qui ne fut démontré expérimentalement qu'en 1967 par Seymour Lindenbaum à « Brookhaven ». Un photon parcourt 1 fermi en 10^{-23} seconde. Yukawa utilisa alors le principe d'incertitude pour calculer l'énergie minimum d'une particule virtuelle qui ne peut agir que pendant un temps aussi court. Il trouva qu'elle était d'environ 100 MeV soit à peu près un neuvième de l'énergie — et donc un neuvième de la masse d'un nucléon. Cette particule, hypothétique vecteur de force, reçut le nom de meson.

Les savants pouvaient espérer vérifier la théorie de Yukawa en produisant des mesons physiques plutôt que virtuels par des collisions violentes entre des nucléons, de même que les photons physiques sont produits par des collisions entre électrons. En raison de leur masse importante, les nouveaux mesons devaient être plus facilement observables. De plus, quand les savants eurent bombardé des noyaux avec des neutrons, ils découvrirent que la force qui dispersait les neutrons, en avait transformé quelques-uns en protons, ce qui privait les noyaux correspondants d'une charge positive. Il semblait que le meson vecteur de Yukawa pouvait porter également une charge électrique. Un meson chargé impressionnerait une émulsion photographique en laissant une trace caractéristique, ou bien laisserait derrière lui un chapelet de gouttelettes lors de son passage dans une chambre de Wilson. Les physiciens se mirent à étudier activement les collisions de rayons cosmiques, car les protons venant de l'espace devaient avoir une énergie cinétique suffisante pour faire apparaître les mesons.

Il fallut toutefois 14 ans pour confirmer les prédictions de Yukawa. Tout d'abord on découvrit une particule dont la masse de 106 MeV était très proche de celle prévue. Cette particule, appelée meson mu ou muon, a été considérée comme celle de Yukawa pendant un certain nombre d'années. Mais en 1949, Soicho Sakata et Tokuso Inoue au Japon, Hans Bethe à l'Université Cornell et Robert Marshak à l'Université de Rochester, expliquèrent que le muon n'avait rien à voir avec la force nucléaire. En réalité, ce n'était pas un meson. Peu après, la bonne particule, le meson pi fut découverte. Ce « pion » avait une masse de 140 GeV, soit légèrement plus grande que ne l'avait prédit Yukawa, et se présentait sous trois états : positif, négatif, neutre. Trois états étaient nécessaires pour expliquer pourquoi les forces

Lorsqu'un pion à grande vitesse heurte un proton, un grand nombre de particules nouvelles surgit. Etant donné que le meson k^+ par exemple a une existence plus longue que sa durée de vie escomptée de 10^{-23} secondes, il doit posséder une propriété nouvelle appelée étrangeté, qui empêche sa désintégration sous l'effet de l'interaction forte, en deux pions non-étranges. L'interaction faible autorise la désintégration mais prend un temps 100×10^{12} fois plus long.

Les mesons K étranges peuvent lier des baryons étranges dans les noyaux ordinaires pour les transformer en hyperfragments. Dans le tritium, les savants ont remplacé un neutron par une particule Λ .

nucléaires qui lient un proton à un proton, un neutron à un neutron et un neutron à un proton, sont égales. Les particules légères (en poids) dites leptons (électrons, muons, neutrinos et photons) ne «sentent» pas la grande force du pion. Le pion et toutes les particules plus lourdes qui sont sensibles à la force nucléaire et interagissent sous son effet, ont reçu le nom de hadrons.

L'histoire du pion n'a pas été sans provoquer quelques déchirements. On dit qu'un physicien suisse, le Baron Ernest C. G. Stueckelberg Breidenbach avait eu en 1935 la même idée que Yukawa. Il la vérifia cependant avec l'éminent physicien autrichien Wolfgang Pauli, qui la tourna en dérision. Pauli avait manifestement tendance à faire preuve de trop d'esprit critique à l'égard des idées qui ne venaient pas de lui. En tout cas, Stueckelberg ne publia pas son idée, et par conséquent ne partagea pas le prix Nobel de Physique qui fut attribué à Yukawa en 1949.

La méprise muon-pion a eu une autre conséquence. En raison de la deuxième guerre mondiale et du manque de communications scientifiques qui en résulta, on ne prêta pas attention en Occident à l'œuvre de Sakata Inoue, et on considéra que les savants qui avaient découvert la méprise étaient Bethe et Marshak. Cet oubli provoqua au Japon une amertume qui se confondit avec les tendances pro-communistes et le ressentiment causé par la défaite. Cette amertume éclata au grand jour lors d'une conférence tenue en 1965 à Kyoto au Japon pour commémorer le trentième anniversaire de la théorie de Yukawa. Mitsuo Taketani, l'un des physiciens japonais les plus respectés, qui nourrissait à l'égard des Etats-Unis des rancunes personnelles et d'ordre politique, et ses collaborateurs, lancèrent ouvertement une accusation de plagiat. Marshak

s'en défendit dans une réponse intelligente et touchante. Cet échange de propos fut publié intégralement dans les minutes de la conférence. Il faut espérer que cet aplanissement des tensions internes au sein du corps scientifique aura servi à détendre l'atmosphère.

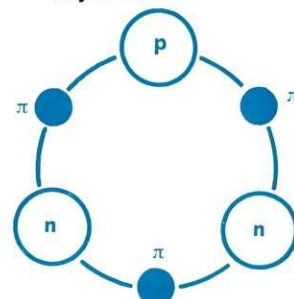
On aurait pu penser qu'avec la découverte du pion, la force nucléaire avait livré son secret. Mais le principe d'incertitude nous dit que d'autres mésons de masse plus élevée peuvent se dissimuler au plus profond du nucléon. La découverte du pion s'est révélée n'être qu'un début, conformément à une «loi» de la nature. Chaque fois qu'un progrès important est réalisé, qu'un mystère est élucidé, nous nous heurtons rapidement à un nouveau mystère. Ainsi, sitôt après que la découverte des trois pions ait semblé expliquer entièrement la grande force nucléaire, les savants furent surpris de découvrir quatre mésons plus lourds. Ces mésons K ou kaons, à 500 MeV étaient eux aussi produits par les rayons cosmiques.

Vers la même époque, d'autres particules nouvelles, semblables aux protons et aux neutrons, furent découvertes dans les traces laissées par les rayons cosmiques. Ces particules, appelées baryons, étaient plus lourdes que le nucléon, et se désintégraient en nucléons et pions, ou nucléons et leptons. Les désintégrations dues à la force nucléaire se produisent toujours en un temps à peu près égal à la durée de vie des pions virtuels, soit environ 10^{-23} seconde. Les kaons transmettent comme les pions la force nucléaire qui lie les nucléons aux nouveaux baryons mais pas aux nucléons. Mais ces nouvelles particules vivaient toutes 10^{-10} seconde, soit plus de mille milliards de fois plus de temps qu'il n'en faut à la force nucléaire pour les désintégrer.

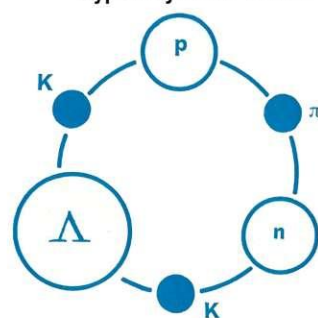
Il y avait là une véritable énigme. Pourquoi les kaons plutôt que les pions

atomes étranges

noyau de tritium



hypernoyau de tritium

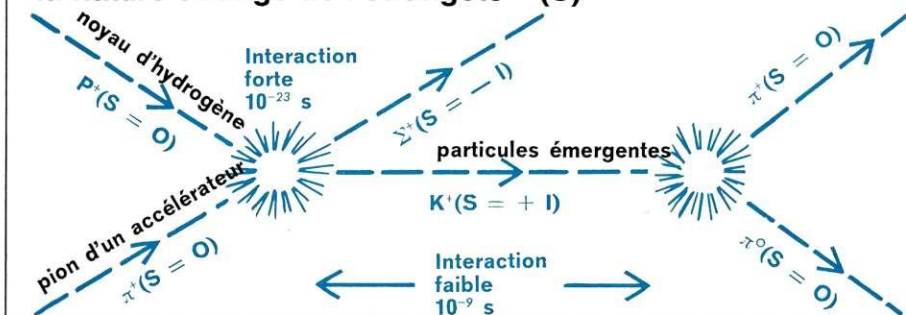


étaient-ils émis virtuellement par les nouveaux baryons ? Et pourquoi vivent-ils si longtemps ? Le comportement de ces particules, problème qui paraissait n'avoir aucune raison de se poser, fut expliqué en 1953 par Murray Gell-Mann, alors à l'Université de Chicago, ainsi que par Kazuhiko Nishijima au Japon.

Les nouvelles particules devaient avoir une autre caractéristique qui n'était pas affectée par l'interaction forte. Gell-Mann l'appela «l'étrangeté». D'après lui, les nouveaux baryons avaient chacun une unité d'étrangeté et il leur était de ce fait impossible en 10^{-23} s d'émettre virtuellement, ou de produire en se désintégrant, des particules non étranges. La deuxième force nucléaire dite interaction faible permettrait apparemment à l'étrangeté de changer d'une unité à la fois, rendant possible la désintégration de ces particules étranges. Toutefois, ses faibles accélérations ralentissent le taux de désintégration, et la durée de vie des particules, réduite à 10^{-10} s, est juste assez longue pour laisser des traces sur un film ou dans une chambre de Wilson.

L'étrangeté venait à peine d'expliquer le rôle des kaons quand des expériences réalisées par Robert Hofstadter à l'Uni-

la nature étrange de l'étrangeté (S)



Le spin 1 du méson ρ à gauche, est conservé, forçant les deux pions de spin 0 en lesquels il se désintègre, à droite, à orbiter relativement l'un par rapport à l'autre. C'est la découverte des pions orbitant qui a primitivement révélé l'existence du méson ρ .

versité de Stanford et Robert Wilson à l'Université de Cornell soulevèrent un nouveau problème. Selon Yukawa un nuage de pions virtuels aurait dû graviter autour du nucléon à une distance d'un fermi. Hofstadter et Wilson espéraient détecter ce nuage en observant la déflexion d'électrons de haute énergie par les nucléons des noyaux atomiques. Les électrons, ne pouvant percevoir la force nucléaire portée par un pion de charge négative émis virtuellement par un neutron, devraient néanmoins être sensibles aux photons virtuels de la charge électrique du pion.

Les sondes électroniques décelèrent effectivement un nuage, dont l'origine ne pouvait s'expliquer de manière satisfaisante par la théorie de Yukawa. Yoichiro Nambu, physicien japonais travaillant à l'Université de Chicago et l'un des plus grands spécialistes de la théorie des particules, démontra en 1957 que les pions virtuels pouvaient être les produits de la désintégration d'un autre méson virtuel ayant des caractéristiques totalement différentes. Ce méson-parent, le rho, aurait une masse environ 5 fois supérieure à celle du pion, et se désintégrerait en deux pions au plus profond du nucléon sous l'effet de l'interaction forte. Nambu démontra que si le rho tournait sur lui-même, les 2 pions, qui n'ont pas cette faculté, devraient émerger en tournant l'un autour de l'autre. Leur mouvement orbital expliquerait le nuage d'Hofstadter-Wilson. Le spin du rho nous apprend en outre que la rotation d'une particule autour d'elle-même — ou spin — ne peut prendre que des valeurs particulières. On considère que l'électron, le nucléon et certaines particules nucléoniques ont des spins égaux à $1/2$. Quelques particules nucléoniques plus lourdes ont un spin de $3/2$ ou de $5/2$. Les mésons vecteurs de force ont un spin entier (0, 1, 2 ou 3). La nature de la force

qu'ils portent est fonction de leur type de spin. Par exemple, la force agissant entre des particules identiques est toujours une attraction si le spin du méson vecteur est pair. Le pion, lui, a un spin 0 et le meilleur exemple d'une force pionique est tout simplement la gravitation de Newton. Aucune force de torsion n'intervient : les 2 masses sont simplement attirées l'une vers l'autre sur la ligne droite qui les sépare. Dans sa théorie de la force gravitationnelle élaborée en 1916, et plus connue sous le nom de « théorie générale de la relativité », Einstein a montré toutefois que la pesanteur était due à une particule de spin 2, le graviton. L'attraction n'est qu'un aspect de la pesanteur. Le spin du graviton engendre d'autres effets : la force centrifuge, qu'on croyait due à la force d'inertie, mais que l'on sait aujourd'hui ne faire qu'un avec la masse gravitationnelle, et la force de Coriolis sous l'effet de laquelle une bicyclette tient debout lorsque ses roues tournent.

L'électromagnétisme est transmis par un méson de spin 1, le photon. Cette force, portée par un méson de spin impair, se manifeste par une répulsion entre particules identiques. Le magnétisme, — dont l'un des effets est par exemple la force de torsion autour d'un électron en mouvement qui fait tourner un moteur électrique — est entièrement dû au spin du photon.

Le spin 1 du nouveau méson-rho impliquerait que ce dernier exerce lui aussi une force de tension semblable au magnétisme. La force qu'il transmet entre deux hadrons identiques serait alors répulsive, comme dans le cas des forces électriques. Ceci expliquerait pourquoi les nucléons d'un même noyau, attirés l'un vers l'autre par les pions virtuels, ne s'interpénètrent pas. Leur noyau central composé de rhos virtuels l'empêche. Toutefois les nucléons et leurs anti-particules, les anti-nucléons, sont attirés l'un vers l'autre par l'intermé-

diaire des pions. Etant de signe opposé, ils sont aussi attirés par les rhos et s'annulent donc eux-mêmes.

La théorie de Nambu trouva confirmation en 1961 lorsque à l'aide d'accélérateurs de particules on détecta indirectement, mais avec certitude, un méson rho réel. Quelques autres mésons de spin 1 furent détectés de manière analogue.

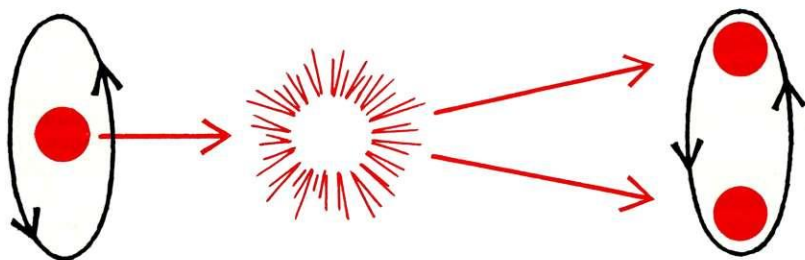
Les mesures de l'intensité de la force nucléaire plus profondément dans le nucléon s'orientèrent pendant les années 60 vers le domaine des hautes énergies, c'est-à-dire la région où les baryons et les mésons virtuels, plus massifs, devaient se concrétiser sous forme de rayons cosmiques et peut-être, de faisceaux issus des puissants nouveaux accélérateurs. Des mésons de spin 2 furent décelés entre 1962 et 1964. L'interaction forte, à environ $1/10$ fermi du centre d'un nucléon, est dominée par ces mésons lourds de spin 2 dont la force d'attraction est supérieure à celle du pion.

Les possibilités extraordinaires de l'interaction forte me laissent parfois rêveur. L'ensemble de la technique actuelle, — que ce soit dans le domaine de la chimie, de l'électricité ou de la mécanique ne repose que sur 2 forces relativement faibles, l'électromagnétisme et la gravitation. Or, il apparaît maintenant que l'interaction forte, à diverses distances, engendre tous ces effets et d'autres encore. Nous verrons plus loin que ces forces vont toutes par huit — 8 formes simples d'attraction, 8 forces complexes s'apparentant à l'électromagnétisme, 8 forces de gravitation du type inertiel. Quelle immense richesse attend les ingénieurs qui pourront pénétrer les espaces interparticulaires de moins d'un fermi. Cette perspective est-elle plus lointaine que la vision de Jules Verne il y a un siècle ?

L'étude des hautes énergies a montré aussi que la probabilité de collision entre deux noyaux diminue régulièrement à mesure que l'énergie croît. Cette probabilité aura-t-elle une valeur limitée à des énergies infinies, correspondant peut-être aux « dimensions » géométriques des nucléons eux-mêmes ? Ou encore la probabilité de collision disparaîtra-t-elle entièrement, les particules devenant complètement « transparentes » l'une pour l'autre ?

Les toutes dernières études montrent qu'aux énergies les plus élevées la force forte est dominée par un méson qui prend son nom de Isaak Ya Pomerantchouk, physicien russe décédé en 1966. La nature de ce « pomerantchoukon » est un mystère.

désintégration du Rho tournant sur lui-même



S'agit-il d'un méson à spin 2 de 1250 MeV, le plus léger de tous, qu'on nomme le f^0 . S'agit-il d'un effet différent à savoir l'attraction due à l'émission virtuelle de paires mésoniques proton-antiproton, ou d'autres paires particule-antiparticule émises et réabsorbées à des distances inférieures à 1/10 fermi.

La réponse aura des incidences importantes sur la navigation spatiale. Selon la théorie de la relativité, les fonctions corporelles des astronautes se ralentissent imperceptiblement à mesure que le véhicule spatial approche de la vitesse de la lumière. En effet, les astronautes pourraient effectuer des voyages d'un siècle vers des étoiles se trouvant à cent années-lumière en ce qui leur semblerait n'être que quelques années. Or, à ces vitesses, le véhicule rencontrerait continuellement des atomes d'hydrogène flottant dans l'espace interstellaire. Dans le deuxième cas, deux protons se dirigeant l'un vers l'autre auraient toujours une chance d'entrer en collision même aux plus hautes énergies. L'hydrogène de l'espace bombarderait le véhicule avec une violence extrême, comme les rayons cosmiques, et ce rayonnement intense pourrait être une des raisons majeures interdisant d'aller jusqu'aux étoiles.

Dans le premier cas au contraire, et si le poméranthoukon et le f^0 ne font qu'un, les probabilités des protons diminueraient avec leur accroissement d'énergie. A l'énergie infinie, l'interaction forte s'évanouirait et les protons n'entreraient jamais en collision. Un véhicule spatial et ses occupants pourraient voyager à une vitesse très proche de celle de la lumière sans avoir conscience de l'hydrogène gazeux qui les traverse. La question n'est que l'une des nombreuses que les deux accélérateurs géants de Batavia (200 GeV) et du CERN (300 GeV) devront résoudre.

Parallèlement aux travaux sur l'interaction forte, une autre théorie a permis de mettre de l'ordre dans l'idée que nous nous faisons du nucléon. La situation est comparable à celle de l'histoire naturelle. La théorie de l'évolution de Darwin n'a été formulée qu'après une classification suffisante du règne animal. En notant les similitudes et les régularités, Darwin put retracer l'origine des espèces. La théorie des forces gravitationnelles et d'inertie de Newton ne pouvait de même être formulée qu'après la découverte par Kepler et Galilée des régularités et similitudes du mouvement et de la chute des corps des planètes.

Au début de 1961, Murray Gell-Mann et

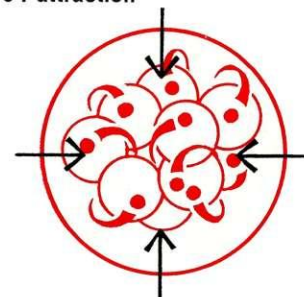
moi-même proposions chacun un système pour la classification des particules à interaction forte en groupes de familles. Les tentatives précédentes avaient échoué. On ne pouvait pas simplement assigner un emplacement à tous les hadrons. Un système pourtant s'approcha très près du succès. Il était basé sur une hypothèse formulée par Sakata en 1956, à savoir que le proton, le neutron et une particule étrange, le baryon lambda, plus leurs antiparticules, constituaient les éléments fondamentaux de toutes les particules et partant de toute la matière. En 60, Yoshio Ohnuki au Japon et Walter Thirring en Autriche retrouvèrent une technique mathématique du dix-neuvième siècle, dite SU (3), c'est-à-dire groupe unitaire simple des transformations en 3 dimensions complexes. SU (3) se prête tout particulièrement à la manipulation de groupes comportant 3 objets fondamentaux. Ohnuki et Thirring constatèrent qu'en distribuant la particule chargée, la particule neutre et la particule étrange proposées par Sakata, de différentes manières, toutes les propriétés connues des hadrons pouvaient s'expliquer.

En vertu de ce système, les mésons de même spin devaient former des groupes de huit. Ainsi, les sept mésons de spin 0 connus — les trois pions et les quatre kaons étranges — devaient avoir un huitième compagnon. A l'Université de Londres en 1961, Abdus Salam et John C. Ward adaptèrent l'hypothèse d'Ohnuki aux mésons de spin 1, suggérant que le rho, s'il était décelé, devait également avoir 7 compagnons de spin 1. En revanche, les baryons, qui n'ont pas, comme les mésons, de spin entier, se répartiraient en groupes de 3-6 et 15 éléments. Sakata ayant supposé que certains baryons, le xi neutre par exemple, étaient constitués de 3 baryons de spin $1/2$ additionnés, leur spin devait être de $3/2$ et leur structure plus compliquée que celle du nucléon.

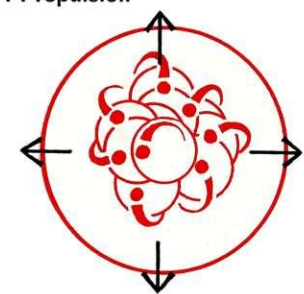
Vers la même époque, alors qu'ignorant la théorie de Sakata, j'étudiais de mon côté le problème, le « modèle de l'octet » m'apparut comme étant la structure mathématique la plus simple permettant de classer les interactions fortes. Gell-Mann du California Institute of Technology eut la même idée. Aucun de nous deux toutefois n'avait pensé à utiliser comme éléments fondamentaux, des particules connues, à l'instar de Sakata. Nous nous sentions tous deux libres de distribuer arbitrairement les particules existantes sans tenir compte de leurs éléments fon-

noyau soumis à deux forces contraires

spin 0 : attraction



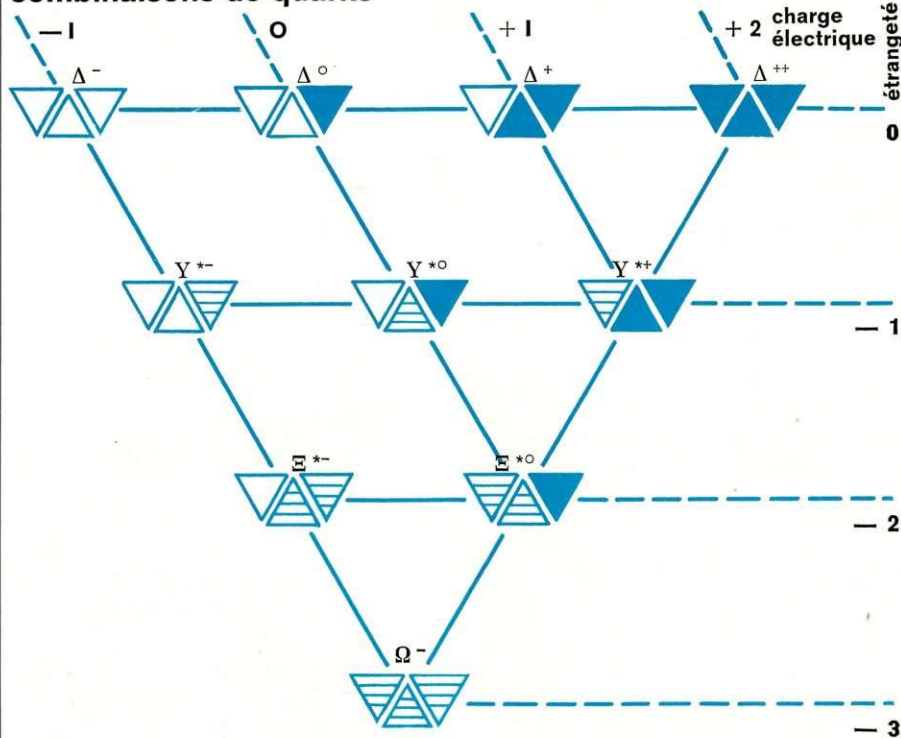
spin 1 : répulsion



Les interactions des pions et des mesons ρ attirent et repoussent alternativement les nucléons dans un noyau atomique. Les pions de spin 0 empêchent l'éclatement du noyau, les mesons ρ de spin 1 l'empêchent de se réduire au volume 0.

La découverte du meson de spin 2⁺ laisse entendre que si l'on pouvait concentrer des nucléons par l'application d'une force supérieure à celle des mesons ρ , ils s'attireraient mutuellement avec une énorme intensité. Non seulement pourrait-on aussi libérer de fabuleuses quantités d'énergie utilisable, mais encore une nouvelle espèce de matière pourrait-elle être créée. L'effet de répulsion des mesons ρ ne s'atténue toutefois pas assez rapidement pour permettre cette attraction sauf en cas de collision périphérique de deux nucléons se produisant à vitesse élevée.

combinaisons de quarks



Trois espèces d'objets représentés sous forme de triangles de couleur peuvent être combinées en différents groupes de trois. Dans le « modèle d'octet » chaque combinaison de trois objets fictifs appelés quarks produit un baryon différent.

damentaux, et de rechercher le système s'adaptant le mieux à l'observation.

Contrairement à Ohnuki et Thirring nous trouvâmes ainsi que, de toutes les structures mathématiques possibles, c'était en groupant les 8 baryons alors connus que l'on obtenait l'explication la plus satisfaisante. Mathématiquement, cela signifiait que nous avions utilisé 3 objets fictifs comme éléments fondamentaux et formé tous les baryons, y compris le nucléon, à partir de combinaisons des 3 objets. Selon notre synthèse donc, le xi n'était guère plus compliqué que le nucléon et avait le même spin $1/2$. Notre théorie prédisait également l'existence de 8 mésons de spin 0 et de 8 autres, de spin 1. Je publiai cette théorie comme le fit Gell-Mann en 1961.

Quelques mois plus tard, on découvrait le huitième méson de spin 0. En 1961, c'était le tour des huit mésons de spin 1. En 1964, on découvrait les mésons de spin 2 qui s'incorporaient parfaitement au même type d'octet.

Jusque là, il était difficile de dire quelle théorie était la bonne, le modèle de Sakata — ou la nôtre que Gell-Mann avait baptisée « modèle de l'octet ». Des groupes de huit mésons avaient été prédits par les deux modèles. En 1963, on constata que le spin du xi était de $1/2$ ce qui semblait indiquer que nous avions vu juste, mais la simplicité relative du système de Sakata continuait d'attirer plusieurs physiciens.

Une différence essentielle séparait pourtant les deux modèles. Si notre théorie était valable les baryons de spin $3/2$ devaient faire partie d'une famille de 10 éléments. Enrico Fermi en avait découvert 4 en 1950 ; trois autres, tous d'étrangeté négative furent identifiés en 1961. Enfin en 1962, lors de la conférence du CERN, une paire, dont chacun des constituants avait une étrangeté négative de deux unités fut annoncée. Leur spin n'était pas connu. Si

ces neuf baryons faisaient réellement partie d'une même famille, le dixième devait avoir une étrangeté négative de 3 unités. De plus, tous les 9, qui se désintégraient sous l'effet de l'interaction forte en 10^{-23} s, ne pouvaient être identifiés que par des analyses complexes de leurs produits de désintégration. La désintégration de leur dixième compagnon pourtant, ne pouvait qu'être due à la force nucléaire faible, sa masse étant inférieure à celle de n'importe quel produit de désintégration de même étrangeté. Il devait ainsi avoir une durée de vie de 10^{-10} secondes et laisser une trace dans une chambre à bulles.

Toutes les propriétés de la particule manquante pouvaient être prédites par notre théorie. Lors de la conférence du CERN, Gell-Mann expliqua exactement aux expérimentateurs ce qu'ils devaient chercher. La veille j'avais écrit à Gerson Goldhaber et sa femme et collaboratrice, Sulamith, pour leur proposer une solution identique. Une expérience dont ils venaient de communiquer les résultats négatifs 2 jours plus tôt avait fourni les dernières données nécessaires et j'essayai de les convaincre de rechercher le dixième élément manquant au tableau.

En février 1964, Nicholas Samios et 32 collaborateurs du laboratoire de Brookhaven le trouvaient ; c'était la première particule oméga négative. Depuis, une vingtaine seulement d' Ω^- ont été observés. Ils ont la masse (env. 1680 MeV), la charge et l'étrangeté voulues et je l'espère aussi le bon spin, qui n'a pas encore été mesuré.

Ainsi le « modèle de l'octet » donnait satisfaction. Depuis, plusieurs autres aspects de cette théorie se sont révélés justes, ce qui l'a fait adopter par la plupart des physiciens. La place d'une particule dans son groupe, permet de prédire l'intensité relative des forces la liant aux divers hadrons. Le système va même au-

delà de l'interaction forte en expliquant son comportement sous l'effet de l'interaction faible et de l'interaction électromagnétique. Mais nous ne savons toujours pas encore pourquoi le « modèle de l'octet » tient bon. Le Newton d'aujourd'hui ne s'est pas encore manifesté.

En 1964, au California Institute of Technology, Gell-Mann et Georg Zweig proposèrent de vérifier si les 3 particules fictives que nous avions considérées comme élémentaires existaient en fait virtuellement ou réellement. Gell-Mann leur donna le nom de quarks. Quatre années de recherches n'ont cependant pas permis de les détecter et les chances de leur existence semblent s'amenuiser.

Personnellement j'ai le sentiment que la théorie de la matière et de ses forces les plus intenses n'aura pas la simplicité naïve de 3 particules réellement élémentaires obéissant au « modèle de l'octet ». La nature sera plus astucieuse. En effet, si un jour on découvre les quarks, je suis certain que nous serons confrontés avec un mystère encore plus profond. Un collègue qui a vécu toute l'histoire de la physique des particules élémentaires me racontait en 1968 que les 2 premiers accélérateurs de haute énergie — le Bévatron à Berkeley, et le Cosmotron à Brookhaven, — tombèrent tous deux en panne peu de temps après leur mise en service en 1954. Six mois devaient s'écouler avant la reprise des expériences. Le Créateur s'était probablement donné le temps d'accroître la complexité de ce plus petit des mondes que les hommes commençaient à explorer. Prenons garde de ne pas sous-estimer le degré de technicité qu'il choisira pour la suite.

Nouvelles des autres laboratoires

Un des huit modulateurs doubles du système d'alimentation HF du nouvel accélérateur linéaire de Saclay : l'appareil a été dégagé de son boîtier. (Photographie CSF — Jean-Claude GEORGEL)

Cérémonie d'inauguration du 19 février: le Ministre R. Galley, A. Abragam, F. Perrin, A. Messiah, F. Netter et C. Tzara, (de gauche à droite). (Photographie Sac'ay)

SACLAY Accélérateur linéaire de 600 MeV

Le 19 février, M. R. Galley, Ministre de la Recherche scientifique, inaugurerait à Saclay un accélérateur linéaire d'électrons de 600 MeV. Complétant l'équipement du Commissariat français à l'Energie atomique (CEA), cet accélérateur est destiné aux recherches sur les structures nucléaires. Il pourra constituer une source abondante de pions et de muons, en plus des faisceaux prévus d'électrons, de positons et de photons. Il est installé au Laboratoire de Physique de « L'Orme des Merisiers », à mi-distance de Saclay et d'Orsay.

En 1959 déjà, l'intérêt pour les recherches de physique nucléaire d'un accélérateur d'électrons puissant a été souligné au Département de physique nucléaire par C. Tzara. Le projet a été approuvé en 1964-1965 et la construction adjugée à l'entreprise CSF. L'accélérateur mis en service en décembre 1968 a un rendement supérieur aux prévisions.

Ses caractéristiques principales sont :

- 1) haute énergie — dans la gamme des centaines de MeV permettant de faire des recherches à des dimensions de l'ordre de grandeur des distances inter-nucléoniques.
- 2) grande intensité — l'accélérateur fournira des faisceaux d'électrons d'une puissance moyenne supérieure à 200 kW (par exemple, 600 μ A à 400 MeV).
- 3) taux d'utilisation important — c'est là sans doute la caractéristique la plus remarquable de cette machine ; le pourcentage de temps pendant lequel l'accélérateur produit des électrons est beaucoup plus élevé que d'habitude dans les linacs. Ce cycle utile atteint normalement 0,2 % ; l'accélérateur de Saclay aura un rendement de 1 à 2 %. A l'énergie maximale de 600 MeV, le taux d'utilisation sera de 1 % (impulsions de 10 μ s, 1000 fois par seconde) ; à 420 MeV, ce taux atteindra 2 % (soit 2000 impulsions par seconde).
- 4) bonne définition de l'énergie — on a obtenu un faisceau presque mono-énergétique (largeur du spectre de seulement 0,3 à 0,5 % à mi-hauteur) et une très grande stabilité (dérive du pic d'énergie de 0,6 % en 24 heures).

L'accélérateur mesure environ 200 m de long. Il est du type à onde progressive (longueur d'onde 10 cm), et il est formé

de 30 sections alimentées par 15 klystrons et 8 modulateurs. Les modalités spéciales de construction des sections ont permis d'atteindre un courant de crête de 60 mA sans aucun signe d'auto-déflexion du faisceau, phénomène commun dans les machines de grande longueur.

Un faisceau de positons peut être obtenu à partir d'une énergie d'électrons de 80 MeV et ensuite accéléré dans le linac. Un faisceau de positons de 0,2 μ A a pu être accéléré à 470 MeV et mesuré sur une cible située à 35 m de la sortie de l'accélérateur. On a enregistré une intensité maximale de positons de 24 μ A,

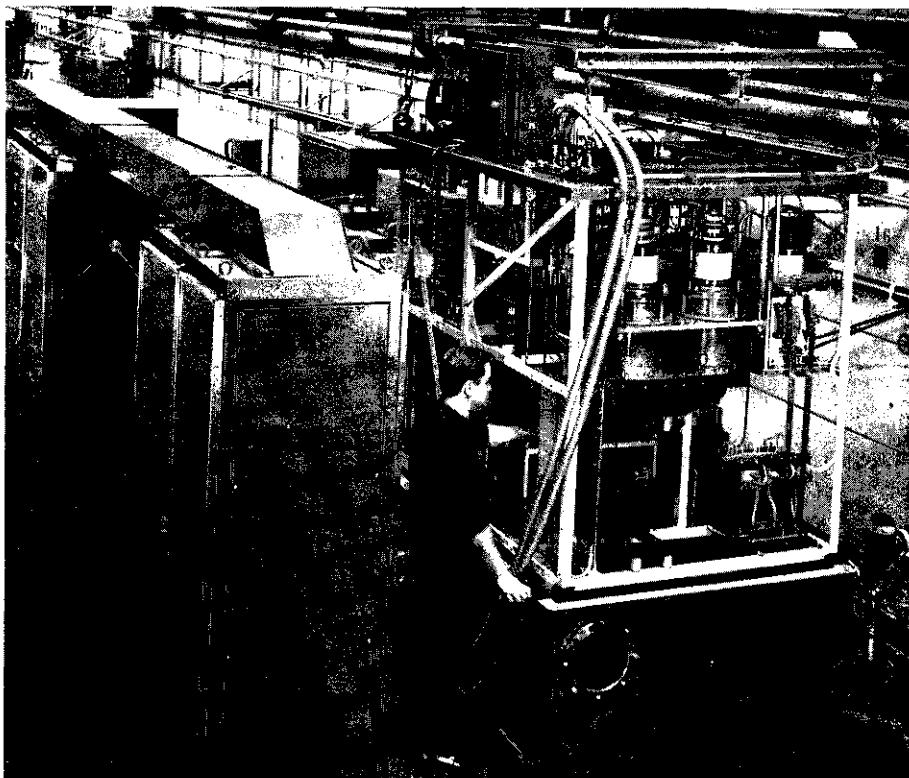
avec une largeur de spectre de 1,35 % à mi-hauteur. On espère pouvoir encore améliorer ces chiffres.

L'estimation des intensités des faisceaux secondaires (avec un taux d'utilisation de 1 % donne une idée des possibilités de la machine :

L'intensité (par seconde) des photons d'annihilation à 400 MeV ($\pm 1,5$ MeV) est évaluée à 2×10^8 .

L'intensité (par seconde) du rayonnement de freinage à 200 MeV (± 1 keV) est évaluée entre 10^8 et 10^9 photons.

L'intensité relative des pions stoppés (par gramme par cm^2) est évaluée à 200 fois



l'intensité actuellement obtenue au synchro-cyclotron de 600 MeV du CERN (avant le programme d'améliorations). Le LAMPF de 800 MeV de Los Alamos, dont l'achèvement est prévu pour 1972, sera capable d'une intensité relative évaluée à 5000 fois le chiffre actuel du CERN.

L'intensité relative des muons stoppés dans une cible d'une certaine épaisseur est évaluée de 150 à 15 000 fois (selon le système de transport de faisceau) le chiffre actuellement obtenu au CERN (le LAMPF aura une capacité de 3000 fois celle obtenue au CERN).

Grosse bobine supraconductrice

A la fin février une grande bobine supraconductrice (dite BIM) a été mise en service à Saclay. Il est possible qu'ultérieurement elle soit utilisée dans le cadre d'une expérience mais à l'origine elle a été conçue pour l'étude des problèmes inhérents à la construction et à l'utilisation de grands aimants supraconducteurs.

Ses caractéristiques principales sont : diamètre intérieur 1 m, diamètre extérieur 1,30 m, hauteur d'une demi-bobine 0,40 m, distance séparant les 2 demi-bobines

0,20 m. Lorsque la bobine est excitée par un courant de 1500 A, le champ magnétique au centre est de 4 T ; il est égal à 5,4 T sur le matériau supraconducteur, ce qui correspond à une énergie emmagasinée de 10 MJ.

Le ruban supraconducteur est composé d'une matrice de cuivre de 10 mm de largeur et 1,8 mm d'épaisseur et contient des filaments de Nb-Ti d'environ 0,25 mm de diamètre en nombre suffisant pour assurer, en échantillon court, un courant critique au moins égal à 1750 A. Ce ruban est isolé par une couche de résine époxyde de 50 μ d'épaisseur permettant d'assurer la tenue diélectrique (1500 V) en cas de fonctionnement de la protection et de maintenir un bon refroidissement grâce à sa faible épaisseur.

La fabrication du matériau supraconducteur a été confiée à deux firmes européennes — Thomson-Houston (France) et IMI (RU). Les deux entreprises ont travaillé en collaboration avec le Département Saturne de Saclay où le groupe responsable de la conception et de la réalisation de la bobine est sous la direction de G. Bronca.

La bobine est prévue pour supporter une intensité critique de 1750 A. Pour une

intensité de 1500 A, le champ au centre de la bobine est de 40 kG, ce qui correspond à 54 kG sur le matériau supraconducteur. L'énergie emmagasinée est dans ces conditions de 10 MJ.

Au cours des essais qui ont débuté fin février le courant a atteint sans difficulté une intensité de 1360 A correspondant à un champ magnétique au centre de la bobine de 36,5 kG et à une énergie emmagasinée de 8,5 MJ. Dans ces conditions, une faible résistance est apparue dans une section (correspondant à environ 30 m du ruban). Cette zone « normale » ne s'est pas propagée dans le reste de la bobine et l'état supraconducteur a pu être rétabli par légère réduction de l'intensité. Des essais ultérieurs sont en cours pour éliminer ce défaut et améliorer les performances obtenues.

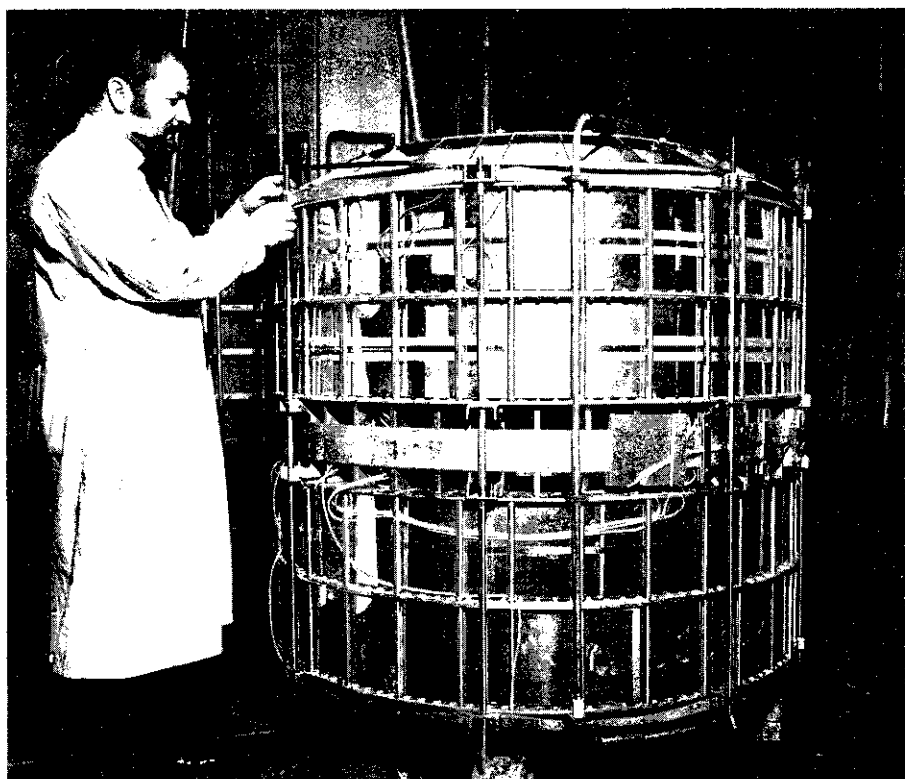
BATAVIA Premiers protons accélérés

Le 20 janvier, on a accéléré des protons à 60 keV. Le courant maximal fourni par la source était de 300 mA et les mesures préliminaires ont révélé une qualité du faisceau supérieure aux besoins du projet. Ce dernier requiert pour l'alimentation du linac un faisceau de 220 à 300 mA sous 750 keV accéléré par la HF jusqu'à 200 MeV. La durée d'une impulsion est de 30 à 100 μ s et le taux de répétition de 15 impulsions par seconde. Le montage de la colonne accélératrice s'est achevé en février, les essais haute tension ont commencé aussitôt. On utilise une alimentation de 750 kV fournie par le laboratoire d'Argonne.

Les travaux de génie civil se poursuivent conformément au calendrier. Les excavations nécessaires à la construction du bâtiment destiné au linac ont été achevées en février. La construction du tunnel pour l'injecteur a débuté le même mois.

Programme de formation

Conformément à l'intention formelle du Directeur R.R. Wilson, d'abord de front la question des droits civiques, il a été annoncé le 10 février que 22 jeunes noirs avaient été sélectionnés pour être formés aux techniques du laboratoire. Venant pour la plupart de Chicago qui se trouve environ à 50 km à l'est du laboratoire de Batavia, ils suivront des cours au centre



La source d'ions du type duoplasmatron qui a fourni à Batavia ses premiers protons accélérés.

d'Oak Ridge de l'Atomic Energy Commission, le NAL n'ayant pas encore construit lui-même d'installations adéquates.

Nouveaux membres de l'URA

Deux nouvelles universités ont été admises à faire partie de l'« Universities Research Association Inc. » qui exploite le NAL. Il s'agit de la Case Western Reserve University (Cleveland) et de la State University of New York (Stony Brook). Ceci porte le nombre total des associations membres à 50 (49 aux US et 1 au Canada).

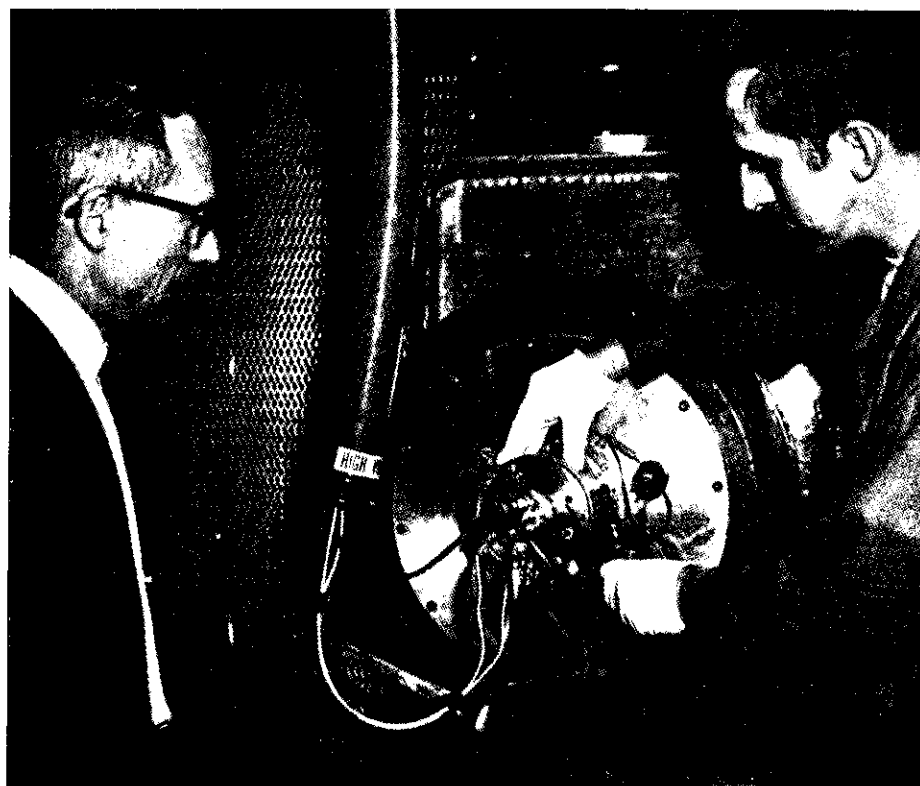
Un groupe de physiciens canadiens présidé par E.P. Hinks et spécialisé dans les hautes énergies insiste pour obtenir une participation accrue du Canada au 200 GeV. Ce groupe reconnaît que le nombre des physiciens spécialistes des hautes énergies au Canada est insuffisant pour justifier les dépenses qu'entraînerait la construction d'une machine nationale présentant un intérêt pour la physique des hautes énergies. En conséquence, il propose une participation gouvernementale au 200 GeV se traduisant par une subvention de 4 millions de dollars annuels durant 5 ans à partir d'avril 1970. De plus, les groupes canadiens effectuant des expériences avec la machine devraient recevoir en 1974-75 une aide minimale de 2 M \$.

Des informations d'origine américaine mentionnent la possibilité d'une participation financière de la RFA au 200 GeV, dans le cadre d'un plan général d'investissements devant contribuer à compenser les dépenses des USA en Allemagne. Cet accord aurait également comme but de permettre aux savants allemands de travailler sur l'accélérateur. La question n'aurait pas encore été discutée par les physiciens des hautes énergies de RFA.

STANFORD (SLAC) Conférence sur le rayonnement

La « 2e Conférence internationale sur la dosimétrie afférente aux accélérateurs » aura lieu du 5 au 7 novembre au SLAC (Stanford, Etats-Unis).

Les sujets traités porteront sur la protection contre le rayonnement des accélérateurs et en particulier sur : protection contre le rayonnement des accélérateurs de protons et d'électrons ; problèmes posés par les nouveaux accélérateurs à



faisceau intense ; dosimétrie des photons, hadrons, leptons... de haute énergie ; expériences de protection biologique sur des accélérateurs de moins de 100 MeV ; mesures et calculs sur le rayonnement ; production des particules ; spectre d'émission des neutrons à travers différents blindages ; rayonnement de freinage ; effet de cascade induit dans le corps humain par les particules à haute énergie.

Toute personne désirant présenter un mémoire est priée d'en adresser un résumé de 400 à 600 mots avant le 30 avril à M. R.H. Thomas (Président de la Commission des Programmes) Health Physics Department, 67 Encina Hall, Stanford University, Stanford, California 94305.

Au CERN, M. Baarli, qui sera Vice-Président de la Conférence, pourra fournir tous renseignements supplémentaires (int. 21 51).

MOSCOU

Une maquette d'accélérateur cybernétique

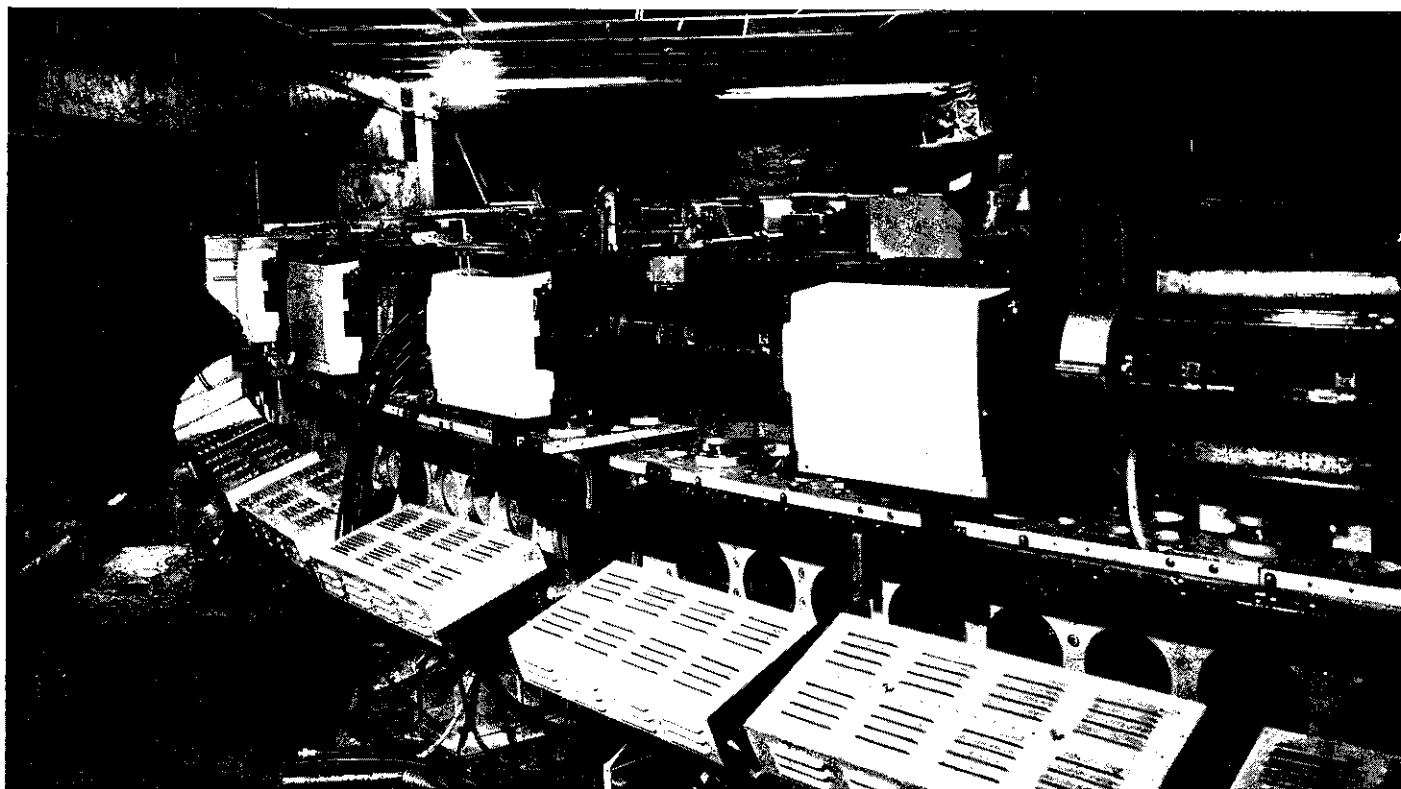
Le degré exact d'intégration pratique des ordinateurs dans le système de commande des accélérateurs est encore l'objet de discussions parmi les spécialistes. Au cours des quelques dernières années, les ordinateurs ont assumé un nombre croissant de fonctions de commande, qui n'ont toutefois consisté en majeure partie qu'à contrôler et à réaliser la synthèse de la masse toujours croissante des renseignements en provenance des divers sous-ensembles des accélérateurs, dont l'importance et la complexité ne cessent d'augmenter. Ces fonctions ont rarement atteint le stade consistant à utiliser les renseignements obtenus pour commander la marche de la machine, cette opération restant la prérogative de l'homme. Depuis

le début des années 60, cependant, un groupe dirigé par A.L. Mints de l'Institut Radiotechnique de l'Académie des Sciences de l'URSS, s'est consacré sans relâche à l'étude de l'ordinateur dans le contexte de la réalisation d'un accélérateur à commande cybernétique. Un article de Mints, donnant des renseignements sur les résultats obtenus avec une maquette de 1 GeV conçue comme banc d'essai du principe de commande cybernétique a été lu à la Conférence de Washington le 5 mars.

L'idée consiste à intégrer un ordinateur à un accélérateur de manière telle que non seulement il enregistre les renseignements concernant le fonctionnement de la machine, mais utilise également ceux-ci pour obtenir un contrôle précis et rapide du faisceau. En particulier, l'ordinateur enregistre des signaux indiquant la position du faisceau. Ceux-ci sont émis par une série de postes de détection répartis le long de l'anneau. Il calcule la valeur des déviations par rapport à la position optimale et renvoie les signaux aux alimentations des lentilles magnétiques pour que soient améliorées les caractéristiques du champ. Les postes de détection enregistrent alors le résultat des modifications intervenues, et permettent la détermination et l'introduction de nouvelles corrections par l'ordinateur dans la mesure où cela est nécessaire.

L'intérêt porté par les savants soviétiques à un tel dispositif réside dans son application aux machines à très haute énergie. Si l'on obtenait avec des ordinateurs un contrôle du faisceau d'une extrême précision, on pourrait réduire la section du tube à vide où circule le faisceau, ce qui entraînerait une diminution du coût de l'aimant. Par contre, il serait nécessaire de disposer d'un dispositif de détection du faisceau, d'un ordinateur de commande et d'un système de correction

Le synchrotron à protons de l'Institut Radiotechnique de l'Université de Moscou. Il est utilisé pour expérimenter les méthodes de commande automatiques (cybernétiques) des accélérateurs.
(Photo RTI)



de champ magnétique plus perfectionnés que dans le cas d'accélérateurs classiques.

Une étude des paramètres concernant un accélérateur cybernétique de 1000 GeV a été faite ; voici quelques caractéristiques : accélération en trois phases (linéaire jusqu'à 800 MeV, synchrotron injecteur jusqu'à 18 GeV) ; diamètre du grand anneau 5,4 km, section du tube à vide 40 mm x 66 mm ; 264 stations d'observations disposées le long de l'orbite, 528 aimants de correction.

Pour vérifier le principe, une maquette de 1 GeV a été construite à l'Institut Radiotechnique de Moscou. Ses réalisateurs ont fait preuve de beaucoup d'ingéniosité dans la conception et la construction de l'appareil qui a produit son premier faisceau en 1967. Ses principaux paramètres sont les suivants : diamètre de 17 m ; injection par un accélérateur Van de Graaff de 1 MeV ; champ à l'injection 250 G ; 100 aimants à fonctions combinées ; 20 électrodes de détection ; 40 aimants de correction et 20 aimants de correction spéciaux qui peuvent être excités de manière variée (quadrupôles, sextupôles, etc.) ; ouverture de la chambre à vide 21 mm x 16 mm ; pression 5×10^{-7} torr ; 15 stations d'accélération donnant 3 keV par tour.

La correction par ordinateur de la trajectoire des particules peut être réalisée sur le premier tour. Le fonctionnement n'est pas encore vraiment cybernétique, bien qu'on ait pu le rendre tel. Les données fournies par les électrodes de détection sont introduites dans l'ordinateur et peuvent en sortir sous forme imprimée. Pour des déviations initiales d'environ 3 mm par rapport à l'orbite fermée, des corrections peuvent être calculées et appliquées en 2 minutes environ par l'intermédiaire des alimentations des aimants de façon à ramener la déviation maximale à moins de 0,5 mm. Les pertes du faisceau injecté tombent alors au-dessous de 5%. On essaie maintenant d'appliquer la correction par ordinateur pendant l'accélération.

TOKYO Pas de 40 GeV

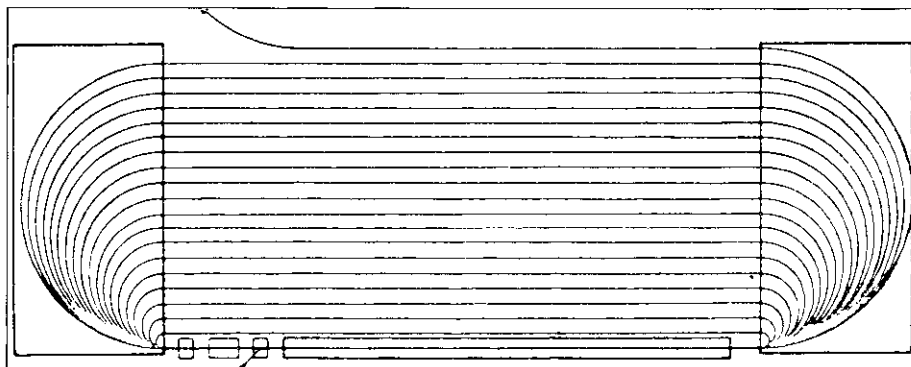
Le Conseil des Affaires scientifiques du Japon, qui est chargé de conseiller le Gouvernement japonais sur sa politique scientifique, n'a pas approuvé le projet d'accélérateur de 40 GeV de l'Institut d'Etudes nucléaires de Tokyo.

Sous la présidence de S. Kaya, le Conseil a décidé que le coût du projet, qui se montait au total à 83 millions de dollars, risquait d'amputer trop sévèrement les sommes mises à la disposition de la recherche dans les autres domaines de la science. Il a donc recommandé un plafond de 21 millions de dollars, mais il est peu vraisemblable que cette solution soit acceptée par les physiciens. Il faudrait en effet diminuer la puissance de l'accélérateur, peut-être jusqu'à 10 GeV, et exploiter un centre beaucoup moins bien équipé avec un effectif réduit. Quand ce centre entrerait en service, à la date prévue pour le 40 GeV (1973), il est peu probable qu'il soit en mesure de représenter une contribution sérieuse à la recherche en physique des hautes énergies.

Le 17 mars, Monsieur l'Ambassadeur Nakayama, représentant le Japon auprès des Organisations internationales à Genève, a rendu visite au CERN. Il s'est montré particulièrement intéressé par les résultats de la coopération internationale au CERN, et a exprimé l'espoir que la collaboration entre savants, au Japon comme au CERN, pourrait être renforcée à l'avenir.

Vue schématique de la « piste » du microtron de 600 MeV. Les deux rectangles latéraux (un de chaque côté) représentent les aimants déviant les électrons de 180° pour qu'ils passent 20 fois au travers du linac supraconducteur de 30 MeV figuré ici par le rectangle allongé situé au bas de la figure.

A.O. Hanson (à gauche) et P. Axel, directeurs du projet de microtron à l'université d'Illinois, présentant une section d'essai du linac. Hanson tient une cavité aux parois garnies de plomb, tandis qu'Axel porte l'enveloppe qui entoure les cavités d'hélium liquide, d'azote liquide et les enceintes à vide. (Photo L.Illinois)



ILLINOIS Microtron supraconducteur

Lors de la Conférence de 1969 sur les accélérateurs de particules, qui s'est tenue à Washington le 7 mars, a été présenté le projet d'un microtron supraconducteur de 600 MeV pour l'université d'Illinois. Cette machine, destinée aux recherches de physique nucléaire, présente quelques caractéristiques nouvelles.

Sa construction s'effectuera en deux temps : le premier, pour lequel 0,5 M \$ ont été fournis en 1968 par la National Science Foundation, consiste à mettre en place un linac supraconducteur à électrons de 30 MeV qui remplacera le béta-tron de 25 MeV en service depuis 1941. (Le béta-tron a été inventé à l'université d'Illinois en 1939 par D.W. Kerst. Un deuxième béta-tron de 340 MeV est également en service dans cette université depuis 1950.) On espère la mise en service du linac pour l'été 1970.

L'intérêt des accélérateurs linéaires supraconducteurs a été exposé en détail dans l'article sur les activités du laboratoire de physique des hautes énergies de l'université de Stanford (COURRIER CERN vol. 8, page 239). Leur avantage principal réside dans leur taux d'utilisation élevé (pourcentage de temps pendant lequel la machine fournit des particules) dû à leur consommation spectaculairement faible d'énergie électrique. Comparé à un taux d'utilisation de 0,2 % environ pour les linacs classiques, la machine de l'université d'Illinois permettra d'atteindre une valeur de 100 %. Le taux d'utilisation, l'un des paramètres qui déterminent quelles sont les possibilités d'expérience, est dans certains cas plus important que l'intensité du faisceau.

Ce linac sera doté de cavités hyperfréquence en niobium ou en cuivre revêtu d'un dépôt électrolytique de plomb travaillant à la fréquence de 1,3 GHz et disposées dans un tube de 4,9 m de long et de 0,9 m de diamètre. Ce tube baigne dans l'hélium liquide fourni par un liquéfacteur de 200 kW) destiné à créer les conditions de supraconduction. Le tout est entouré d'une première enceinte d'azote liquide et d'une deuxième enceinte à vide, ce qui donne à l'ensemble une dimension totale de 5,2 m de long et 2,7 m de diamètre. Le courant de faisceau de l'appareil est de 10 μ A et lorsque le microtron fonctionnera, on prévoit 20 traversées du linac par le



faisceau (comme nous le précisons ci-après) de telle sorte que la puissance totale du faisceau sera de 6 kW (10 μ A x 20 x 30 MeV), contre 30 kW pour la puissance haute fréquence consommée.

Des essais sont actuellement en cours sur deux cavités (l'une en niobium et l'autre en cuivre revêtu de plomb) pour déterminer une méthode satisfaisante de fabrication et de montage des cavités supraconductrices dans un linac. Ce travail n'a pas l'envergure de celui de Stanford, et l'Université d'Illinois s'en informe régulièrement. Le choix entre le cuivre plomb ou le niobium pour les cavités n'est pas encore arrêté, bien que ce dernier, en raison de ses meilleures caractéristiques fondamentales, doive être choisi si l'on peut surmonter les difficultés de fabrication.

Le processus d'acquisition de plusieurs éléments classiques (canon à électrons, modulateur, cryostat de 2,5 m de section) se poursuit et l'on espère qu'ils seront mis en place cet été de manière telle qu'on puisse exploiter au moins une section linéaire correspondant à 3 longueurs d'onde du guide d'ondes.

Au cours du deuxième temps sera effectuée l'adaptation du linac de 30 MeV au microtron de 600 MeV, selon le dispositif

représenté schématiquement sur le croquis ci-joint. Deux grands aimants distants de 7 m environ dévieront de 180° les électrons accélérés dans le linac de telle sorte qu'ils accomplissent 20 passages successifs à travers l'accélérateur linéaire. Les aimants auront une largeur de 3 m et présenteront des fentes larges de quelques centimètres entre leurs faces polaires, pour laisser circuler les faisceaux. Un champ magnétique de 13,67 kG permettra d'obtenir un espacement de 14,7 cm entre les trajectoires de faisceaux adjacents.

Le travail concernant ce second stade s'est particulièrement attaché à l'étude des trajectoires de particules dans la « piste » du microtron de façon à atteindre la stabilité nécessaire des faisceaux en tenant compte des variations de qualité de ceux-ci à l'entrée, d'uniformité des champs magnétiques et de stabilité de l'alimentation. Le résultat des calculs n'indique aucune difficulté importante.

On estime que le microtron pourrait entrer en service deux ans après le linac (c'est-à-dire en 1972) et coûterait une somme complémentaire de \$ 1,25 million.

un nouveau détecteur de rayonnement X en Ge(Li)

associé à un préamplificateur à effet de champ refroidi.

Très bonne résolution : 0,8 keV sur la raie de 97 keV du ^{153}Gd

Ce détecteur est présenté au rayonnement sans fenêtre d'entrée,
à l'exception de celle du cryostat en beryllium ($250\text{ }\mu$)

Autres détecteurs Ge(Li) : plans et coaxiaux de grands volumes
double drift anti-Compton détecteurs puits.

Electronique associée en standard Esone ou NIM.

a new Ge(Li) detector for X-rays

connected to a cooled FET preamplifier.

Very high resolution : 0,8 keV for 97 keV (^{153}Gd)

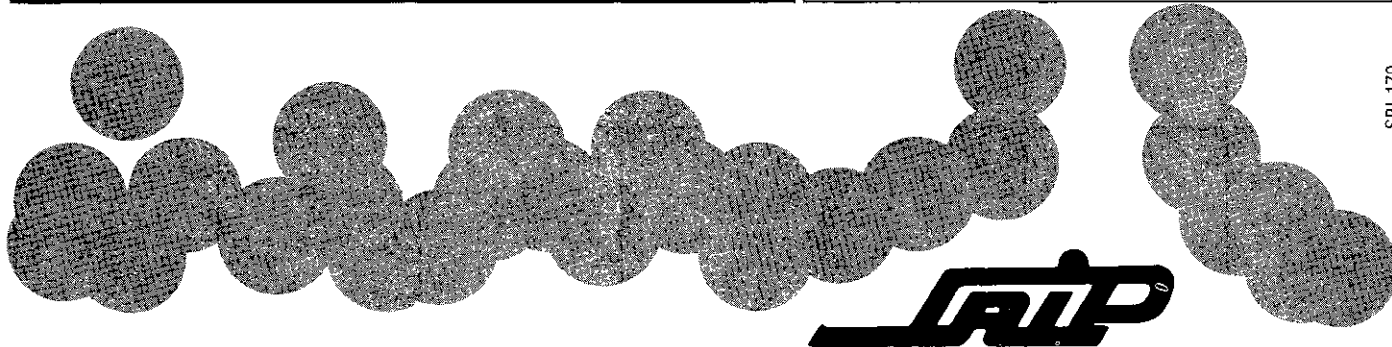
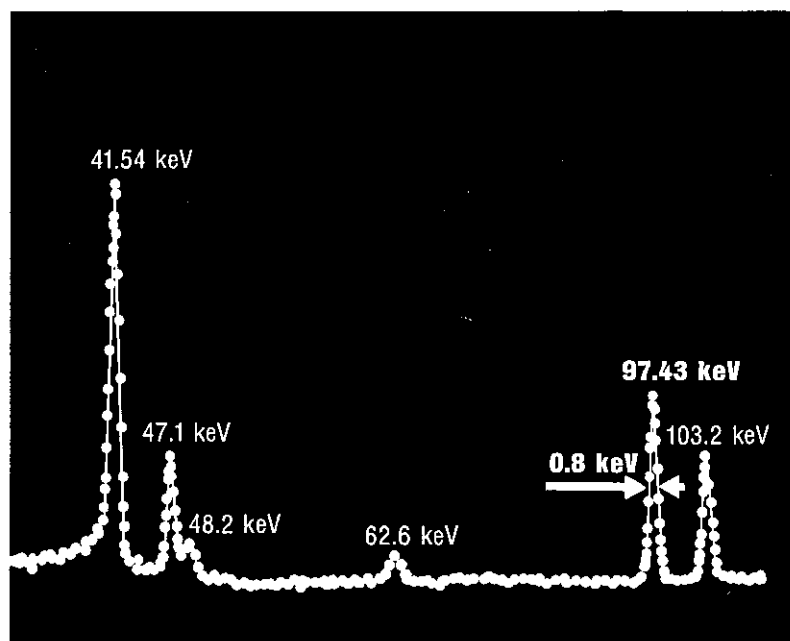
No entrance window except the beryllium one of the cryostat ($250\text{ }\mu$)

Other Ge(Li) detectors : planar and large volume coaxial
double drift anti-Compton well detectors.

Related electronics in Esone or NIM standard.

97.43 keV

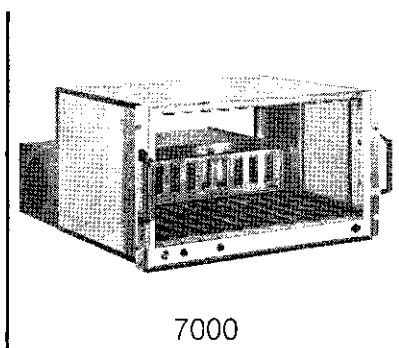
0.8 keV



SPI 179

SOCIETE D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA PHYSIQUE
38, rue Gabriel Cr  , 92, Malakoff, France, téléphone 253 87 20 +, adresse télégraphique : Saiphy Malakoff

électronique rapide en standard NIM



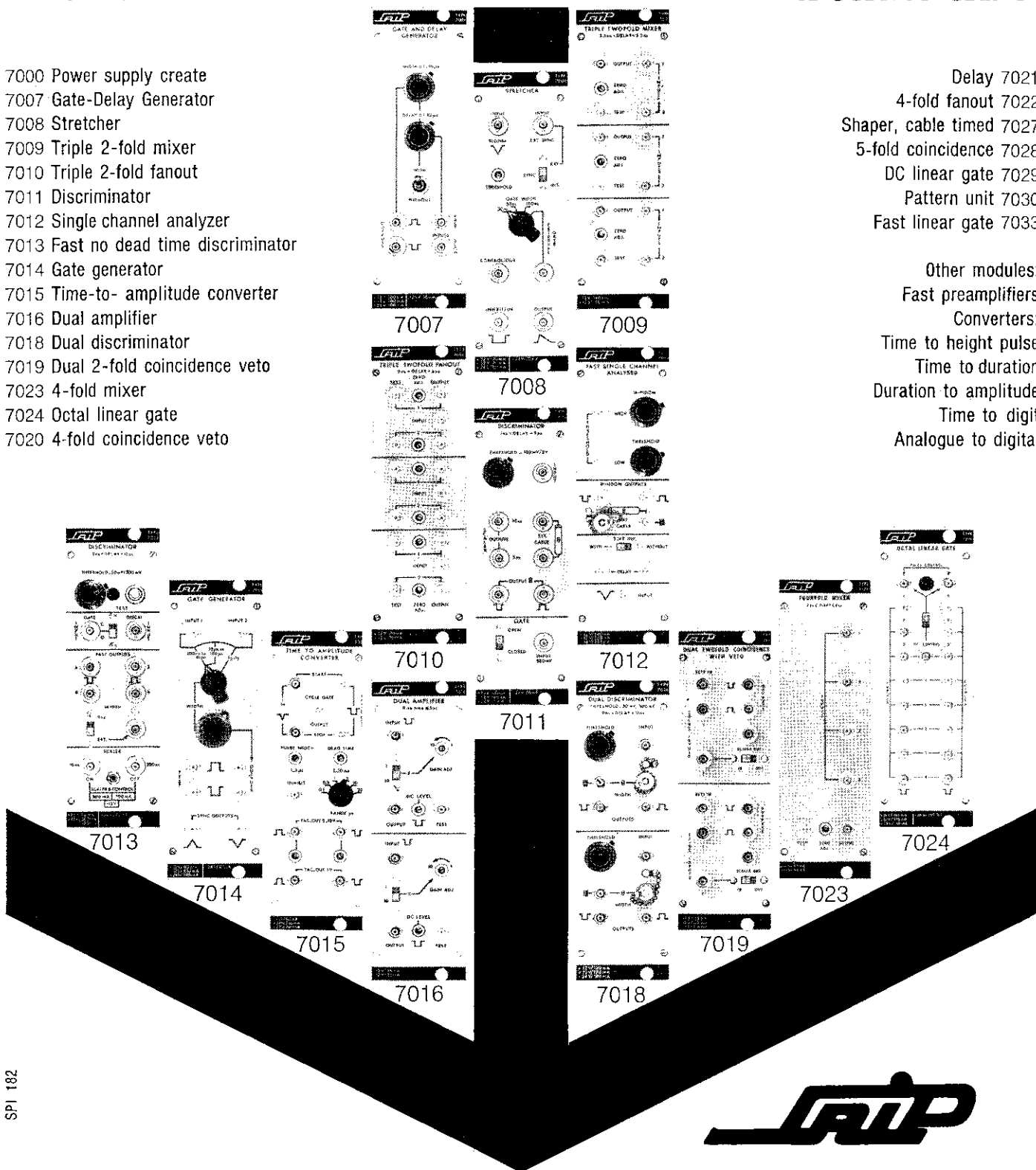
7000

nanosecond electronics NIM standard

- 7000 Power supply create
- 7007 Gate-Delay Generator
- 7008 Stretcher
- 7009 Triple 2-fold mixer
- 7010 Triple 2-fold fanout
- 7011 Discriminator
- 7012 Single channel analyzer
- 7013 Fast no dead time discriminator
- 7014 Gate generator
- 7015 Time-to- amplitude converter
- 7016 Dual amplifier
- 7018 Dual discriminator
- 7019 Dual 2-fold coincidence veto
- 7023 4-fold mixer
- 7024 Octal linear gate
- 7020 4-fold coincidence veto

- Delay 7021
- 4-fold fanout 7022
- Shaper, cable timed 7027
- 5-fold coincidence 7028
- DC linear gate 7029
- Pattern unit 7030
- Fast linear gate 7033

- Other modules:
- Fast preamplifiers
- Converters:
- Time to height pulse
- Time to duration
- Duration to amplitude
- Time to digit
- Analogue to digital



SPI 102

LAP

SOCIETE D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA PHYSIQUE
38, rue Gabriel Crié, 92, Malakoff, France, téléphone 253 87 20 +, adresse télégraphique : Saiphy Malakoff

INTRODUCING

OMNIllogic I: THE WORLD'S FIRST ALL-IC FAST LOGIC SYSTEM

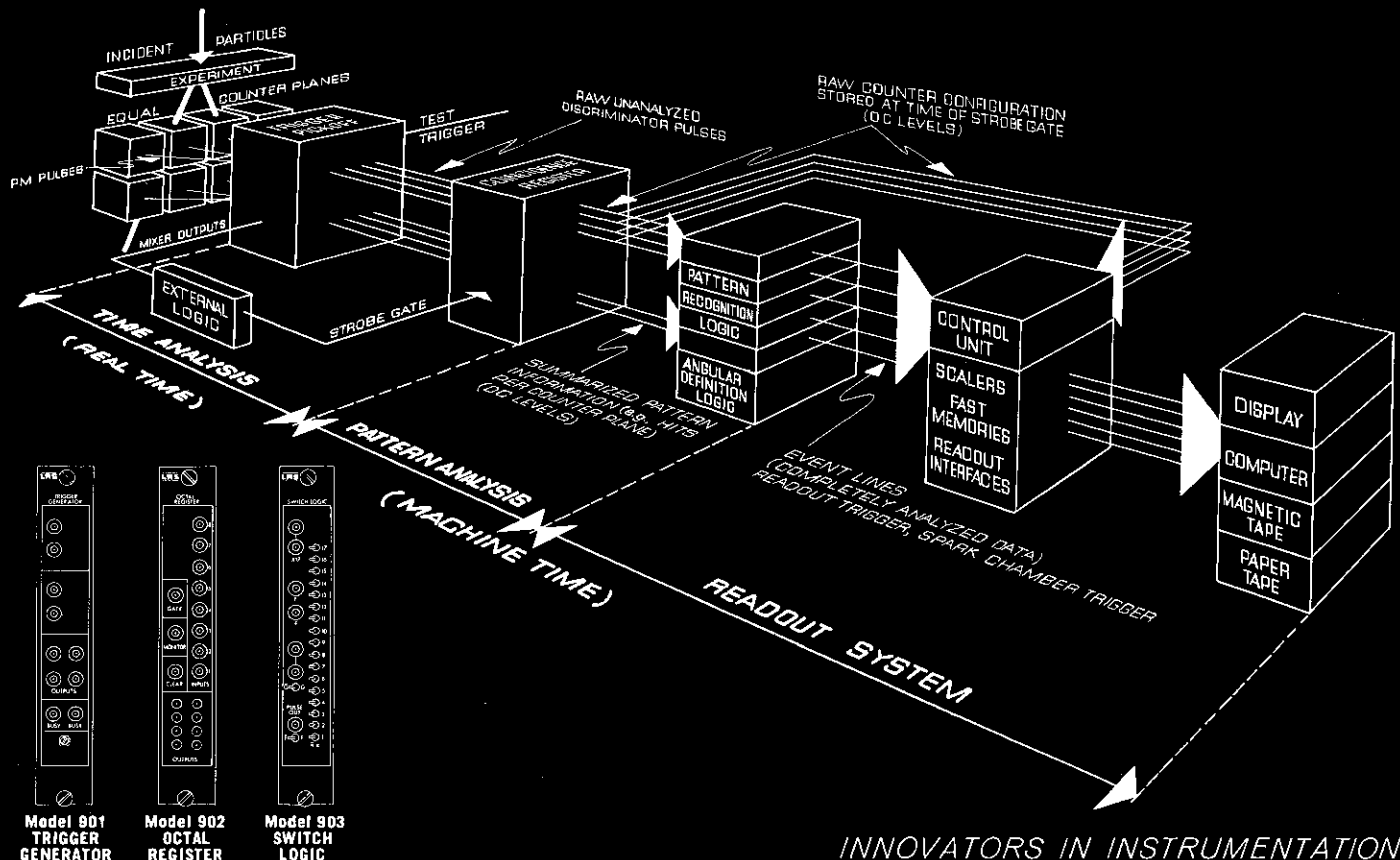
- A totally new approach to fast logic for high-energy instrumentation (not just conventional circuits repackaged using IC's).
- Less than half the cost of conventional instrumentation — \$10 (or less) per incremental logic decision.
- Circuit elegance afforded by unique system concept permits fewer, simpler, more reliable modules.
- All NIM-compatible signal levels.
- Built-in test pattern generators.
- Outputs organized for scalers, computers, magnetic tape recorders.
- Even faster than conventional 200 MHz logic systems — speed achieved through highly parallel computer-type logic.
- Simple, clean setup and operation; simultaneous analysis of background events; free of the propagated, compounded timing inaccuracies and dead-time effects inherent in conventional fast logic systems.

A totally different concept. Send for product literature on: **OMNIllogic I.**

LRS

LeCROY RESEARCH SYSTEMS
CORPORATION
Rte. 303, W. Nyack, N.Y. 10994 • (914) 358-7900

OMNIllogic





The HIDAC system is applicable to spark chambers, hodoscopes, spectrometers and time-of-flight measurements. The system is kept up to date with the passage of time by the continual introduction of new modules to help automate and expand your equipment.

HIDAC now includes the Analogue-to-Digital Converter 954



HIDAC
means easy
and reliable
high speed
data
acquisition!

The ADC 954 has been specially developed for the analysis of pulse height information as well as pulse width in time of flight measurements. By virtue of its fast input stretcher, it may be used from the nanosecond range up to dc levels. Input charge can be selected in five ranges from 70 to 1400 pC corresponding to 700 mV NIM pulses of 5, 10, 20, 50 and 100 ns. The input stretcher has a resolution of 5 ps and its output can be monitored with an oscilloscope at the slow input. The slow input accepts pulses from 400 ns length up to dc levels. All circuitry is dc-coupled throughout enabling measurements in many other fields to be also undertaken. Gain is controllable over 0 to 100% and the input impedance is 5 kohms in the 50 mV range and 100 kohms in the 1 V range. Conversion rate is 100 MHz and conversion gain is 64, 128, 256, 512 or 1024 channels. The unit is housed in a double width AEC/NIM module.

The HIDAC Data Acquisition System is designed for collection of all data in experimental high and low energy nuclear physics. Many special units are available for particular applications, such as recording of data from spark chambers, Hodoscope-arrays, time-of-flight measurements, pulse-height information and counting-rates up to 100 MHz. This equipment was conceived from the many special units over the last few years, together with the latest requirements for ON-LINE control. Our programme does not only consist of a single component for the system, but we have a fully integrated range from spark chambers to interface of computers. We do not claim to have developed this system entirely ourselves, but with the help of our many customers it therefore covers most the requirements in the field.

On the left one of the modules is introduced.

Great Britain: 35 High Street, Shoreham-by-Sea
Sussex BN4 5DD
Tel: Shoreham-by-Sea 5262 Telex: 87274
Germany: Verkaufsbüro München, Kaiserstrasse 10
8000 München 23
Tel: 34 80 16
France: Numelec, 2 Petite Place, 78-Versailles
Tel: 951-29-30

ELECTRONICS
borer + co

Switzerland: P. O. Box, 4500 Solothurn 2
Tel: (065) 4 88 21, Telex 34228

The fast counting discriminator

Rate > 225 MHz cw
or pulse burst . . . pulse-pair
resolution typically 4 nsec.

Slewing is typically
0.7 nsec.

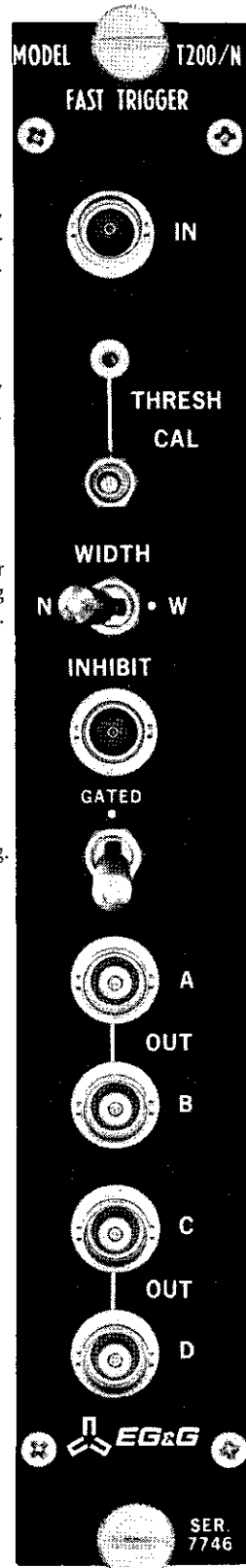
WIDTH: narrow (3 nsec) or
wide (5 nsec). Updating
in the "wide".

Selectable bin gating.

THRESHOLD level is
exceptionally stable under
temperature and power
supply changes and can be
normalized between
—100mV and —250mV.

INHIBIT input which
is protected and
50-ohm terminating
accepts NIM-standard fast
logic signals for fast,
anti-coincidence
operation.

Two versatile "dual"
outputs provide a
fanout of four
NIM-standard fast
logic signals.



The new T200/N FAST TRIGGER is *the* fast counting and timing discriminator. Find out more about it. Write or call EG&G Inc., Nuclear Instrumentation Division, 40 Congress Street, Salem, Massachusetts 01970. Telephone: (617) 745-3200. Cables: EGGINC-SALEM. TWX: 710-347-6741.

EEV thyratrons- for better high speed switching

EEV glass and ceramic hydrogen thyratrons are extensively used to provide more precise and efficient high speed switching. Here are some of the reasons why:

- 1 Their short anode delay time of between 20 and 120 nanoseconds depending on triggering method.
 - 2 Low jitter generally of 1 to 2 nanoseconds but down to less than $\frac{1}{2}$ nanosecond depending on heater supply.
 - 3 The negligible change in anode delay time—typically only 10 nanoseconds over a long period of use.
 - 4 A high peak inverse voltage capability of 20kV immediately following pulse.
 - 5 The low trigger power required.
 - 6 The wide operating voltage range of 1kV-120kV with four tubes.
 - 7 The ability to control anode delay time and rise time of current, using reservoir.
 - 8 The wide reservoir range for maintenance of gas pressure typically 4.5V to 5.7V.
- The standard range plus EEV's ability to meet special requirements means that virtually any high speed switching application can be met. Here are a few:

Radar modulators with a system output power of 10kW–10MW.

Medical linear accelerators with RF accelerating powers up to 15MW.

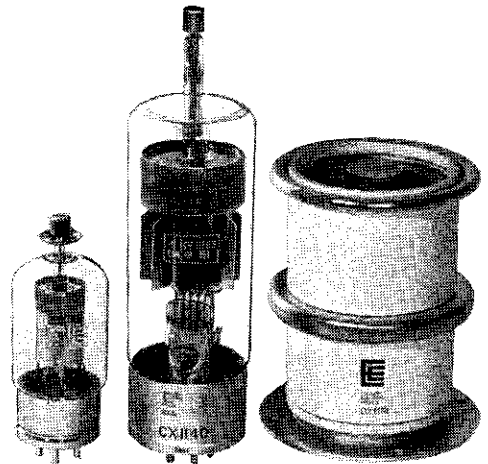
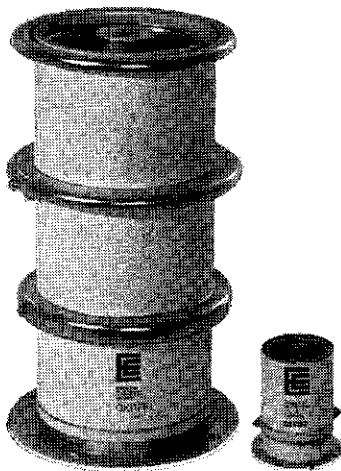
Particle linear accelerators with RF accelerating powers up to 50MW. They may also be used in first-stage particle beam choppers.

Particle beam benders where a network of stored energy needs to be discharged into a deflection coil or other device somewhere on the accelerating ring.

Spark chambers

For pulsing light shutters such as Kerr or Pockel cells.

Electronic crowbars and energy diverters



Brief data on some of the ceramic types available.

Type	Peak power output max (MW)	Heating Factor (V.A.p.p.s.)	Peak forward voltage max (kV)	Peak anode current max (A)	Mean anode current max (A)
CX1154	50.0	30×10^9	40	2500	3.0
CX1157	3.5	7×10^9	20	350	0.35
CX1168	100.0	70×10^9	80	2500	2.5
CX1171	150	70×10^9	120	2500	2.5
CX1174	120	60×10^9	40	6000	6.0
CX1175	200	140×10^9	80	5000	6.0
CX1180	12.5	9×10^9	25	1000	1.25

Send for full details of the complete range of EEV thyratrons.



English Electric Valve Co Ltd

Chelmsford Essex England. Telephone: 61777

Telex: 99103 Grams: Enelectico Chelmsford

Represented by:

Roschi Telecommunication A.G.

Giacomettistrasse 15, P.O. Box 63. 3000 Bern 31,

Tel: (031) 44-27-11 Telex: 32-137

I am particularly interested in using a thyatron with the following parameters:

Application

Peak power output

Peak forward voltage

Peak anode current

Please send me full data on your complete range of glass and ceramic hydrogen thyratrons

NAME

POSITION

COMPANY

ADDRESS

TELEPHONE NUMBER

EXTENSION

CC 1 AP 359

$$y = \text{Arctg} \left(\frac{x^2 + 3}{e^x} \right) \text{ ch } x$$

Calculer y est aussi simple que de taper votre nom à la machine.



Effleurer les touches du clavier c'est tout ce que vous avez à faire. Tout y est, les fonctions logarithmiques, trigonométriques, et même la conversion de coordonnées polaires en cartésiennes et vice versa ! Résoudre des équations transcendentes devient un jeu d'enfant. Les résultats des calculs, effectués en virgule flottante entre 10^{-99} et 10^{99} , sont affichés avec 10 chiffres significatifs.

Ecrivez vos programmes vous-même. Les 16 registres de mémoire reçoivent jusqu'à 196 instructions (exemple $\sin x = 1$ instruction) que l'on enregistre en quelques secondes sur une minuscule carte magnétique. Votre pro-

gramme ainsi enregistré peut d'ailleurs être modifié sans difficulté, car les instructions qu'il contient peuvent être corrigées individuellement.

Gagnez du temps, gagnez de l'argent. La 9100A élève votre productivité à la puissance n, elle se paie donc très vite. Elle est là, près de vous. Pas d'attente devant l'ordinateur de la maison — et elle est tellement plus agréable à manipuler qu'une règle à calculer.

Nous souhaitons pouvoir vous montrer comment la 9100A vous permettra de consacrer votre temps si précieux à des tâches créatrices.

Prix: \$ 4900 F.O.B. usine

Quelques exemples de programmes en bibliothèque:

Séries de Fourier
Intégrales elliptiques
Polynômes à coefficients et variables complexes
Analyses de régression
Analyses de variances
Géométrie topographique
Intégration non-fonctionnelle
Equations transcendentes
Equations différentielles 1er et 2e ordre
Zéros de Polynômes jusqu'au 5e degré

Ces programmes sont écrits pour vous dans une bibliothèque en continue extension qui vous est remise avec la 9100A.

European Headquarters:
Hewlett-Packard S.A.
Rue du Bois-du-Lan 7
1217 Meyrin-Geneva
Tel. (022) 4154 00

28 bureaux
de vente
en Europe.

HEWLETT  PACKARD



It's What's Up Front ...

Use the Nanologic 150 blend of superb performance and stability Up Front where proven 200 MHz speed and less than 50 picosecond coincidence detection really matter. Use our 151 Dual Discriminator and our 152 Logic Unit and get the best performance commercially available.

To wit: 5 ns pulse pair resolution at 200 MHz; -50 mV to -1V sensitivity; updating or deadtime modes; normal or complementary outputs; output width continuously variable. And, with 50 psec coincidence detection get AND, OR, MAJORITY, ANTI-, and SELECTIVE AND logic functions; bridged inputs; continuously variable output widths; normal or complementary outputs; overlap output, etc., etc.

If you're going NIM, go the **best** NIM: Nanologic 150. Particularly up front, where it really counts.

There are some seventeen DC-coupled, 200 MHz, AEC-compatible NIM modules and a NIM bin, the M-150 Main Frame, with a NIM Type II Power Supply. Nothing else performs as well. Up front or out back. **Nothing** else.

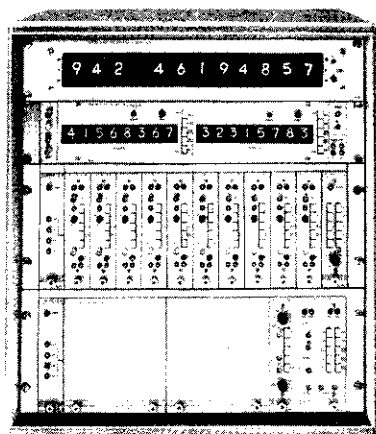
New Nanologic 150 catalog off the press shortly; please write or 'phone for your copy and/or anything else NIM.

CHRONETICS, U.S.A.: 500 Nuber Avenue, Mt. Vernon, New York (914) 699-4400; EUROPE: 39 Rue Rothschild, Geneva, Switzerland (022) 31 81 80.



à chaque problème
de comptage...

...une solution spécifique



SYSTÈME 300

Système modulaire universel pour les expériences nucléaires et la physique des hautes énergies.

Gamme étendue d'échelles avec ou sans affichage — 50 et 100 Mhz.

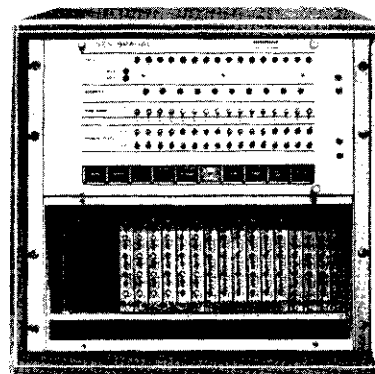
Entièrement réalisé en circuits intégrés ECL et TTL.

SYSTÈME SPADAC

Système d'acquisition de données pour les hodoscopes et les chambres à étincelles et, en général, les expériences nécessitant un grand nombre d'échelles. Destiné essentiellement au couplage en ligne sur ordinateur.

Logique de rejection des événements intéressants. Test automatique de l'ensemble par l'ordinateur.

Entièrement réalisé en circuits intégrés TTL.



pour tous les systèmes...

SEN

ELECTRONIQUE

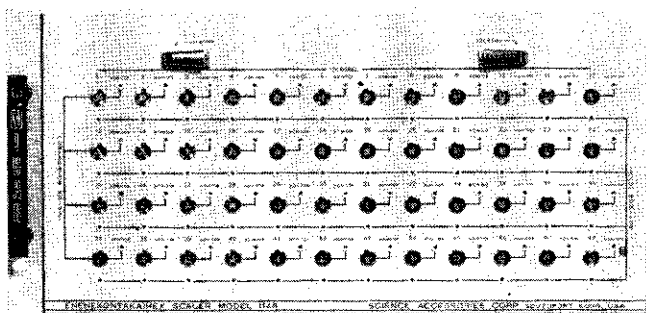
...vous offre le plus grand choix de moyens d'enregistrement,
de stockage et de transfert des données.

Représentants dans tous les pays.

31, av. Ernest-Pictet
1211 GENEVE 13
Suisse
Tél. (022) 44 29 40

from SAC...

DATA ACQUISITION SYSTEMS FOR HIGH ENERGY PHYSICS

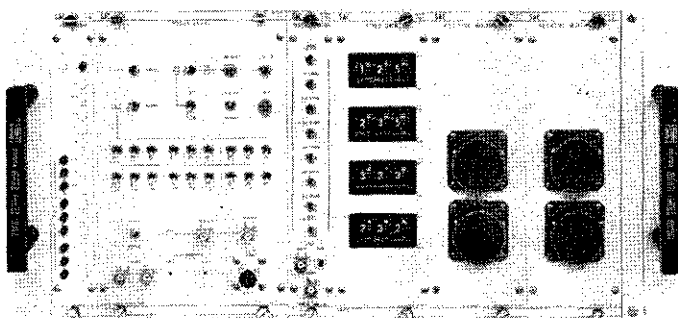
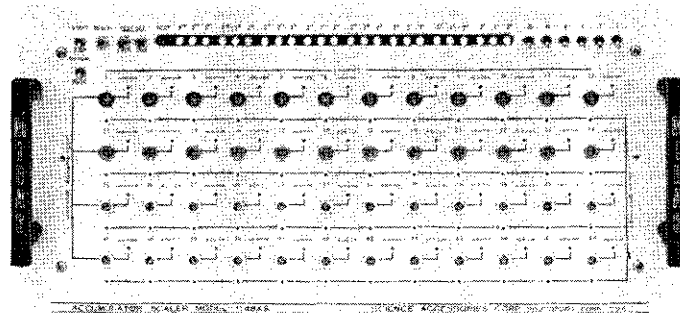


1148 DIGITAL SPARK CHAMBER SCALER UNIT

- Switch select any combination of scalers per unit—2/48, 4/24, 6/16, 8/12
- High adjacent pulse resolution with digital pulse center finder

1148 AS ACCUMULATION SCALER UNIT

- 48, 24 binary bit, 40 MHz scalers—positive and negative input
- Fully computer controllable—random access or sequential readout, individual group start and stop



1100/1200/1300 SERIES DATA ACQUISITION, CONTROL AND READOUT INTERFACE UNITS

- Digital multiplexing, scanning and output device interfaces ranging from typewriters to computers

SAC

SCIENCE ACCESSORIES CORPORATION

65 STATION STREET / SOUTHPORT / CONNECTICUT / 06490 / USA / PHONE 203-255-1526

A SUBSIDIARY OF AMPEREX ELECTRONIC CORPORATION

Play it cool



or play it at room temperature, there's a Simtec preamplifier designed exactly for your particular experiment. To give optimum no-compromise resolution for each combination of detector temperature, leakage and capacity, Simtec's new, expanded P-11 line comes in six models:

- P-11-HRCN:** Ultimate resolution with cooled FET, cooled low-capacity detectors.
- P-11-LSCN:** Optimum resolution with cooled FET, cooled high-capacity detectors.
- P-11-HR:** Best for room temperature FET, cooled low-capacity detectors.
- P-11-LS:** Best for room temperature FET, cooled high-capacity detectors.
- P-11-PN:** Specially designed for high-capacity detectors up to 1,000 pf.
- P-11:** Still the best basic low-noise FET preamplifier.

Another point to remember: All P-11 models conform **exactly** to TID 20893 recommendations. Write for our data sheets or ask for a demonstration.

Swiss Agents : **HIGH ENERGY AND NUCLEAR EQUIPMENT S.A.**

— 2, chemin de Tavernay - GRAND-SACONNEX - 1218 GENEVA - Tél. (022) 34 17 07/34 17 05
— CASTELLANA HILTON - MADRID - Tél. 410 02 00/250 40 26

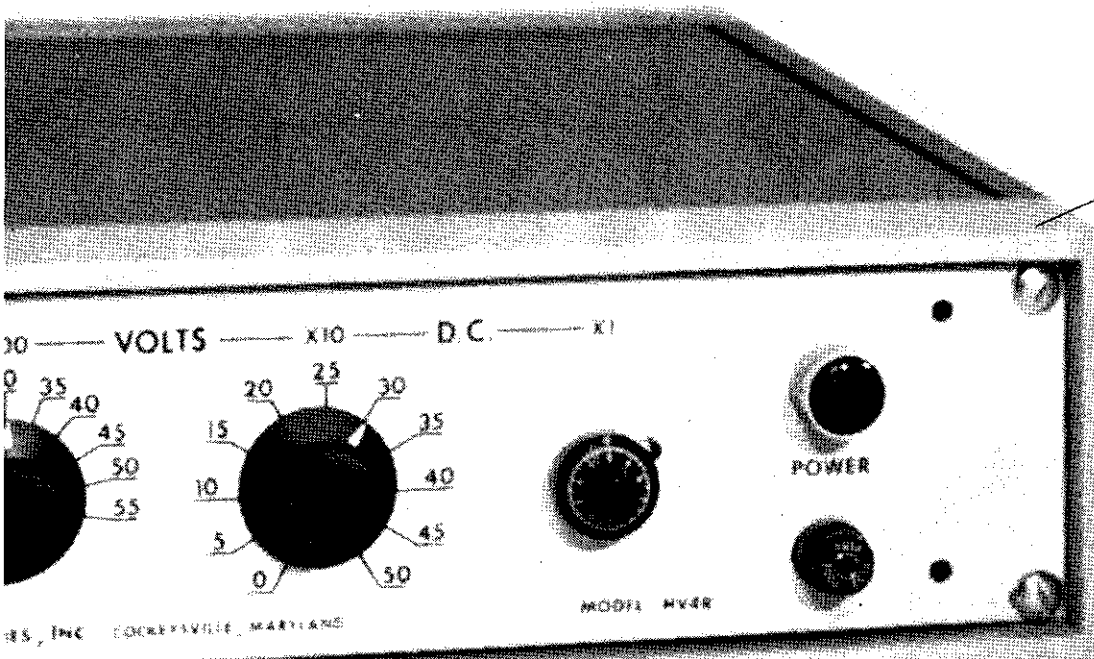


simtec Ltd.

3400 Metropolitan Blvd. East,
Montreal 455, Canada
Telephone (514) 728-4527

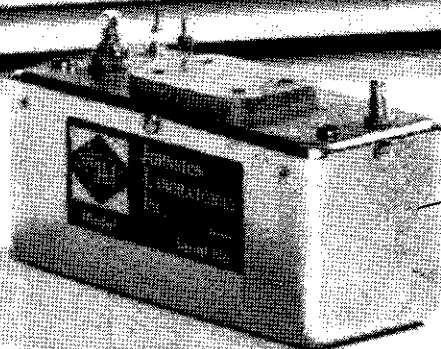
Six special things, not four.

(Four components. Or two systems. You choose.)



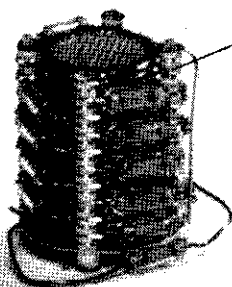
All solid-state high voltage power supply (HV-4R)—ultra low noise for operating photomultipliers, electron multipliers, proportional counters, and ionization chambers. Small, light, 500 to 6,100 volts DC range, reversible polarity, highly filtered, noise: less than 300 μ v RMS.

Forms a complete matched system with the preamplifier-amplifier-discriminator and either of the particle multipliers shown below. Write for file HV.



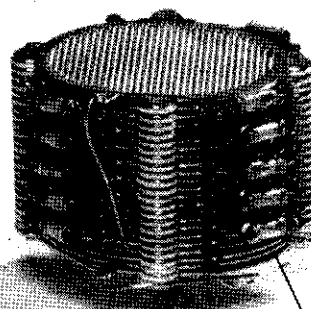
Preamplifier-amplifier-discriminator (PAD-1)—for use with photomultipliers and electron multipliers in mass spectrometers and fast counting systems. Charge sensitive; rise-time: 3 nsec, output: 4 volts into 50 Ω , miniaturized, rugged.

Combines with the high voltage power supply above and either of the particle multipliers below to form a complete matched system. Write for file PAD.



Particle multiplier (MM-2), patented—has the same general characteristics as the particle multiplier shown above, but is only half the diameter (1").

Forms a complete matched system when combined with the high voltage power supply and preamplifier-amplifier-discriminator above. Write for file MM.



Particle multiplier (MM-1), patented—for pulse counting or current measurement of electrons, ions, UV or x-ray photons, and energetic neutral atoms or molecules. Adjustable high gain (up to 10^{10}), stable, guaranteed reactivateable, non-magnetic, no ion feedback or instability, integral resistor chain, small, light, rugged, bakeable, repairable.

Other options available (e.g., interchangeable cathodes.)

Complete matched system when combined with the high voltage power supply and preamplifier-amplifier-discriminator above. Write for file PM.

Johnston Laboratories, Inc.
3 Industry Lane, Cockeysville, Md. 21030.



A LITHIUM DRIFTED GERMANIUM NON-DISPERSIVE X-RAY SPECTROMETER

SEMICONDUCTOR RESEARCH GROUP*
NUCLEAR ENTERPRISES LTD., SIGHTHILL, EDINBURGH 11, SCOTLAND

December 12, 1968

Recent advances in the development of germanium X-ray spectrometers are summarised and technical data listed. The use of these devices in the field of research, medicine, industry and non-destructive analysis is discussed, and the higher efficiency relative to silicon is emphasised.

The applications of semiconductor detectors in the energy spectrum above 100keV have been known for several years. Because of their low ionisation energy they now dominate experimental and analytical work in those fields of nuclear spectrometry where energy resolution is of prime importance. However their use has not been so general in the X-ray and gamma-ray region below 100keV. In order to supersede scintillation and proportional counters at these energies a semiconductor detector system must have the following properties. It must be linear, exhibit very good energy resolution (certainly less than 1keV) efficient and also have a very thin window.

At its Edinburgh laboratories Nuclear Enterprises has been developing germanium detectors for the energy identification of X-rays and gamma-rays between 2keV and 100keV. This work has involved stringent control of detector production, cryostat fabrication and the complete redesign of the coupling between the detector and preamplifier first stage. Although this development work is continuing, the results achieved so far have been so good as to justify the marketing of the first range of germanium X-ray

Four basic cryostat designs are available in drip feed and dipstick configurations, with either a horizontal or vertical housing. Full technical specifications of these systems are given below.

There are many interesting applications for these new systems, in basic research, medical work, fluorescence analysis and many other fields. The person doing Mossbauer experiments will be particularly interested to learn of the availability of a detector system which combines the high resolution, only previously obtained from silicon detectors, with the high efficiency of germanium (97% at 60keV for a 5mm detector). One interesting application in the medical field is the *in vivo* imaging of the thyroid gland through use of the Iodine K shell fluorescence X-ray at 28.5keV. A dysprosium source is used to excite K α X-rays and the detector is scanned across the thyroid to map out iodine distribution. Industrial samples of powders, slurries or liquids may be analysed non-destructively by using the X-ray spectrometer to identify elements from their characteristic X-ray emissions. The source used to excite the X-rays can be an X-ray generator or a radio-isotope source mounted on the cryostat to give optimum detector-source-sample presentation. Minimum detectable concentrations can be as low as a few p.p.m.

Technical Specifications

1. DETECTORS

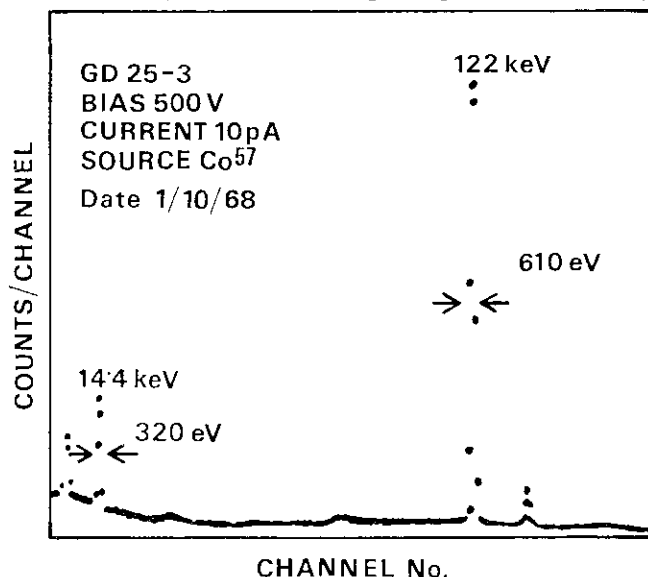
Type No.	Area mm ²	Thickness mm	Window Micron of Ge	Resolution at 14.4keV (Co ⁵⁷) eV FWHM
GDX25-3A	25	3	<1.0	<325
GDX25-3	25	3	<1.0	<400
GDX50-3	50	3	<1.0	<450
GDX100-3	100	3	<1.0	<600
GDX200-5	200	5	<1.0	<750
GDX300-5	300	5	<1.0	<900

2. CRYOSTATS

Type No.	Configuration	Reservoir Capacity
NE 5602	Drip Feed Horizontal	10 or 25
NE 5603	Drip Feed Vertical	10 or 25
NE 5604	Dipstick Horizontal	25 or 31
NE 5605	Dipstick Vertical	25 or 31

All systems are shipped as an integral detector, cryostats with ion pump and power supply, and preamplifier assembly.

*Full details of systems are available from Nuclear Enterprises Ltd., at Sighthill, Edinburgh 11. Tel: 031-443 4060, Telex: 72333



spectrometer systems capable of an energy resolution of less than 325eV. Such a system comprises a germanium detector mounted in a cryostat and dc coupled to a low noise sensitive preamplifier with a cooled first stage.

Swiss Agents : HIGH ENERGY AND NUCLEAR EQUIPMENT S.A.

— 2, chemin de Tavernay - GRAND-SACONNEX - 1218 GENEVA - Tél. (022) 34 17 07/34 17 05

— CASTELLANA HILTON - MADRID - Tél. 410 02 00/250 40 26

FILMS

FOR BUBBLE AND SPARK CHAMBERS

For hydrogen bubble chambers Agfa-Gevaert supplies Scientia 48 B 50 film, for spark chambers and heavy liquid bubble chambers Scientia 54 A 62 film, for AgBr detection NUC 3.07 and NUC 7.15 emulsions.

But these are only a few varieties of the range of Agfa-Gevaert emulsions for scientific photography. Complete details will gladly be sent to you on application.

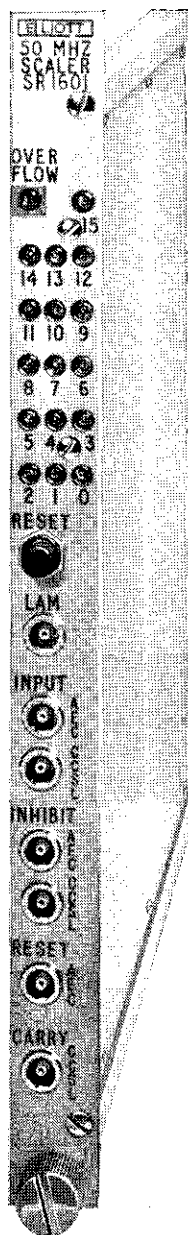
GEVAERT-AGFA N.V.,
ANTWERP-BELGIUM

SCIENTIA

GEVAERT

AGFA-GEVAERT

Elliott's CAMAC gives you more



not only a comprehensive range of CAMAC facilities

- Flexibility of decode section by internal patching facilities
- High packing density
- Low cost per function
- Full test module equipment available

but also these specific Elliott features and services

- Visual indication of stored data available on most units
- Operation up to 50MHz
- Full documentation covering the design and use of the equipment
- Delivery and installation of complete system if required
- Service support from expert technicians to ensure continuous optimum performance

Elliott CAMAC users are backed by the specialist facilities and unique application experience of the leaders in digital design and manufacture. Send now for full details.

Elliott Process Instruments Limited

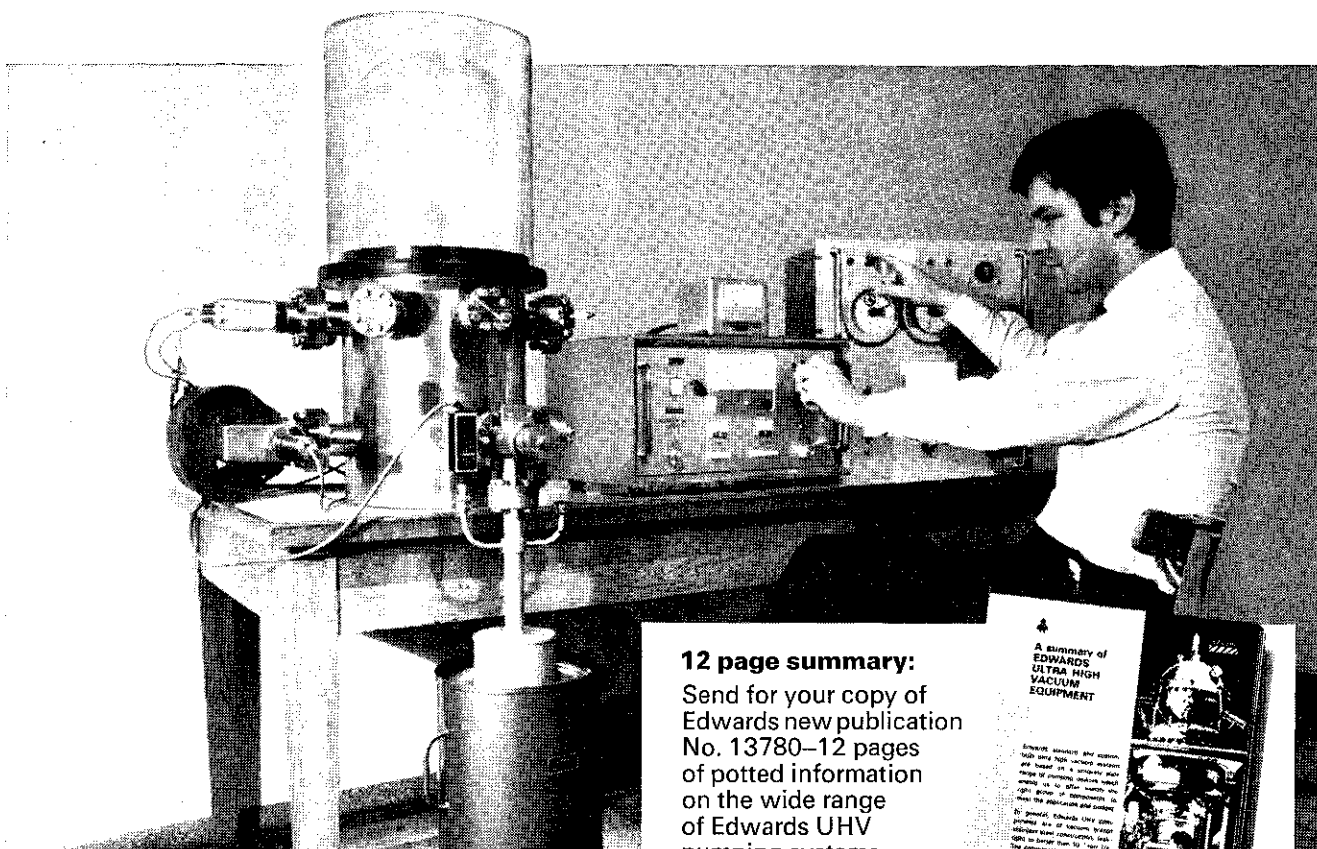
Century Works, London SE13, England

Edwards

—for the only UHV systems with vacuum brazed components

That means their previous manufacturing and surface treatment 'history' has been completely obliterated by a degassing bake at 1050°C. So, system for system, *you get higher vacua with*

lower baking temperatures, shorter cycles and big economies in heating. Edwards have produced three "off-the-peg" UHV pumping groups based on vacuum brazed components. These groups, though standard, can readily be modified to suit a particular application. Edwards can also supply you with complete custom-built plant with the pumps best suited to your application and budget. Edwards have no axe to grind because they have a uniquely wide range from which to choose—sputter-ion and radial electric field pumps, liquid helium cryopumps, sublimation pumps, properly trapped vapour pumps and rotary pumps, and sorption pumps. Flanges can be either Conflat® compatible or ISO type.

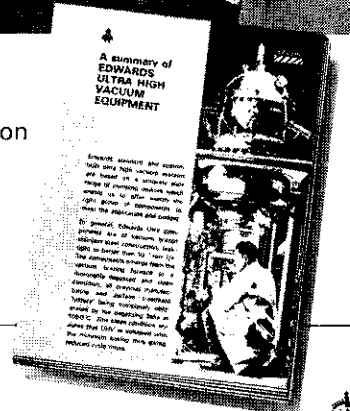


Edwards 12 in table top system; 3 types of workchamber are available

12 page summary:

Send for your copy of Edwards new publication No. 13780—12 pages of potted information on the wide range of Edwards UHV pumping systems and components.

® Conflat is a registered trade name of Varian Associates



Edwards Vacuum Components Limited

A member of the BOC group

Manor Royal, Crawley, Sussex, England

Telephone Crawley 28844 Telex 87123 Edhivac Crawley



FROM THE WORLD'S LEADING PRODUCTION PLANT FOR OPTICAL GLASS:



Opt 20 A

Optical glass
for all usual refraction and dispersion ranges as raw glass of all shapes, such as slab glass, block glass, strip glass, cut glass, cut disks, prisms, mouldings. Glasses for large-sized optical systems (wind tunnel windows, astro-optical systems, etc.).

Optical coloured glasses
Filter glasses for ultraviolet, visible and infrared spectral regions.

Glasses for laser technology
Laser glasses, special-type filters and reflectors.

Glasses with interference coatings
such as interference filters, semi-transparent mirrors, heat reflecting filters, cold mirrors, low-reflective glass.

Fibre optics
Fibre optical components. Flexible light-guiding cables. Rigid and flexible UV-light guides. Light-guiding rods. Fibre plates. Flexible image transmitters.

Shielding windows against gamma radiation.
Special observation windows for nuclear installations.

Information and technical data on request.

SCHOTT

JENA^{ER} GLASWERK SCHOTT & GEN., MAINZ
(West-Germany)