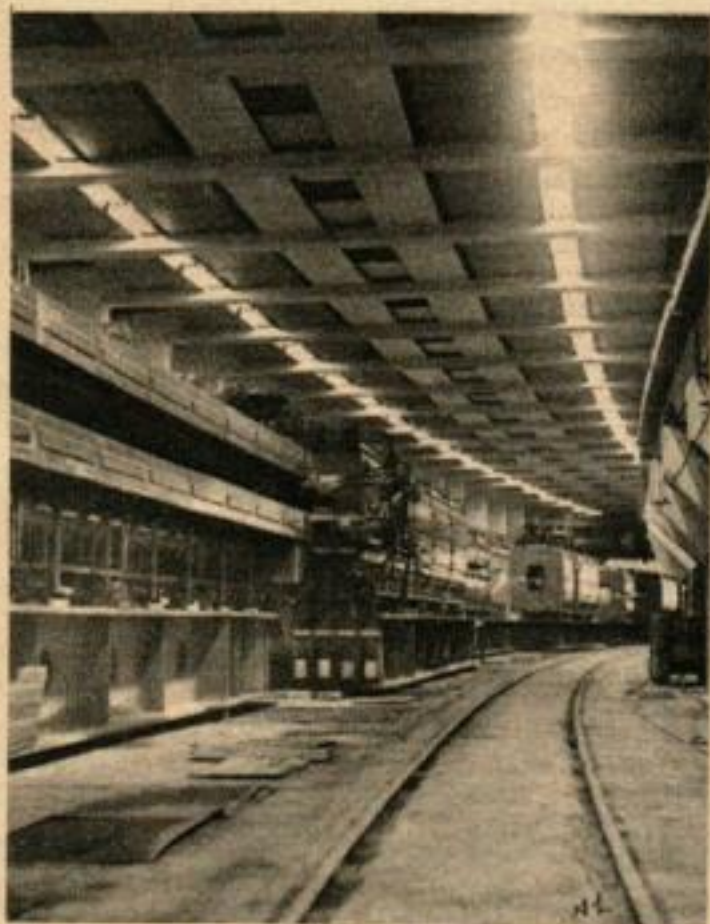


Accélérateur gigantesque de 300 GeV

Par Richard THOMAS



Vue partielle du superaccélérateur soviétique en construction à Serpukhov, à 100 km au sud de Moscou. Il aura une puissance de 70 GeV. On voit à gauche une partie de son électro-aimant annulaire qui a un diamètre de 472 m. Au premier plan, la voie ferrée dont on se sert pour se déplacer à l'intérieur du synchrotron ; elle a 1 483 m de long.

L'ORGANISATION Européenne pour la Recherche Nucléaire, mieux connue sous le nom de C.E.R.N., a jeté les bases d'une construction extraordinaire — un accélérateur à 300 GeV (300 milliards d'électronvolts), ayant un diamètre de 2 400 mètres. Pour se donner une idée de l'envergure d'un tel projet, il suffit de noter que le synchrotron de Brookhaven, aux Etats-Unis, dispose d'une énergie de 33 GeV — seulement la neuvième partie de celui qui est projeté par le C.E.R.N.

En cette époque où nos extraordinaires découvertes permettent de faire mieux avec moins et de produire davantage avec des matériels miniaturisés, on est en droit de demander pourquoi il faut construire un accélérateur mesurant 2 400 m d'un côté à l'autre, surtout quand il s'agit d'étudier les particules dites « élémentaires » qui sont justement de plus en plus minuscules.

En direct du C.E.R.N., l'un de nos collaborateurs a obtenu des précisions sur les projets concernant cet accélérateur. Ces renseignements, qui constituent un véritable dossier et traitent en détail les nombreuses phases de la question, ont — entre autres mérites — celui de commencer par le commencement.

Ils définissent l'usage que fait la physique subnucléaire d'un accélérateur de particules, et puis font le point des grands synchrotrons existant dans le monde en ce moment. On explique alors le fonctionnement d'un accélérateur type et traite du développement de la physique subnucléaire en Europe. La documentation aborde par la suite une question d'importance primordiale : pourquoi il faut avoir recours à des engins de proportions si extraordinaires.

Notre étude en restera là pour ce mois de novembre et nous poursuivrons, dans notre numéro de décembre, les autres données de cette question importante qu'est la physique des hautes énergies en Europe. Car le Vieux Monde n'entend pas pour autant rester à la remorque de l'Union Soviétique et des Etats Unis en matière de puissance électrique ou de recherches scientifiques.

La physique subnucléaire

La science contemporaine aborde de front plusieurs grandes énigmes. Les questions « Qu'est-ce que la vie ? », « Quelles sont les limites de l'Univers ? », « Quelles sont les briques ultimes qui constituent la matière ? », concrétisent quelques-unes des grandes inconnues que la civilisation technique et scientifique du XX^e siècle tente d'éclaircir.

Dans le monde, quelque 5 000 physiciens apportent leur participation à une réponse à la dernière de ces questions.

Dans la seule Europe, 1 500 d'entre eux contribuent à augmenter la connaissance de la composition de la matière.

La matière, rappelons-le, est faite de molécules.

Celles-ci, à leur tour, sont construites à partir d'atomes qui comportent chacun un noyau. A l'intérieur de celui-ci se trouvent des particules dites subnucléaires, puisqu'elles s'inscrivent dans le noyau. La physique subnucléaire examine non seulement ces particules dites « fondamentales » (dont l'assemblage constitue l'univers tout entier, depuis les galaxies jusqu'aux yeux qui lisent ces lignes), mais encore les forces qui, en reliant ces particules, sont responsables du monde qui nous entoure.

Pareille activité scientifique n'a pour objet aucune application pratique d'énergie nucléaire, les réacteurs nucléaires, par exemple. Les résultats des travaux de la physique subnucléaire ne tendent qu'à reculer les limites de la science ; n'ayant aucun caractère secret, ils sont accessibles à tous.

La dimension d'une particule se situe aux environs de 10^{-14} cm, (0,000 000 000 000 01 centimètre). Un objet aussi infinitésimal ne peut être observé à l'aide d'instruments conventionnels et les accélérateurs constituent en quelque sorte la sonde capable de mettre en évidence les phénomènes qui se produisent à cette échelle.

Les accélérateurs produisent des faisceaux de projectiles aussi petits que les particules à étudier, les animent d'une haute énergie en leur imprimant, par exemple, une vitesse voisine de celle de la lumière. Dotés de caractéristiques bien déterminées, ces faisceaux de particules-projectiles sont alors dirigés vers des cibles appropriées. Ils provoquent dans les noyaux de la matière des cibles un ensemble de réactions qui permettent d'étudier les propriétés des particules fondamentales.

L'étude des réactions ou événements subnucléaires s'effectue à l'aide de détecteurs de divers types :

- émulsions photographiques,
- compteurs électroniques et chambres à étincelles,
- chambres à bulles.

Enfin, au stade suivant, les événements subnucléaires enregistrés sont examinés et analysés. Les informations obtenues au cours de ces opérations sont ensuite transmises à un ordinateur électronique, auquel on fournit

simultanément un programme qui permet à l'appareil de répondre à un certain nombre de questions, en fonction des événements que l'on souhaite étudier. De récents développements techniques tendent à éliminer partiellement la phase d'examen des données et à transmettre directement à l'ordinateur les informations recueillies par les détecteurs.

Au terme de l'expérience, les données fournies — ou espérées — sont à la base de discussions entre physiciens expérimentateurs et physiciens théoriciens.

Enfin, si l'expérience est jugée concluante, elle fait l'objet d'une publication scientifique dans l'un ou l'autre des quelques organes de renommée mondiale où la physique moderne consigne ces progrès.

Les accélérateurs de particules

Il existe dans le monde des centaines d'accélérateurs répartis dans les universités ou laboratoires s'occupant des travaux décrits plus haut. L'énergie qu'impriment ces machines aux particules qu'elles accélèrent varie toutefois beaucoup, allant de quelques milliers aux dizaines de milliards d'électronvolts.

L'électronvolt est l'unité d'énergie acquise par une particule dans un accélérateur ; il correspond à l'énergie fournie à une charge électrique unitaire (telle que celle que porte un proton ou un électron) soumise à une différence de potentiel de 1 volt. Cette énergie est très petite, il faudrait $2,25 \times 10^{25}$ eV (soit 22 500 000 000 000 000 000 000 000) pour valoir un kilowatt-heure. On a donc recours à des multiples, plus pratiques, de l'électronvolt pour qualifier les accélérateurs.

Ainsi, les laboratoires du C.E.R.N., l'Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire, à Meyrin-Genève, possèdent deux accélérateurs, respectivement un synchrocyclotron de 600 millions (600 MeV) et un synchrotron de 28 milliards (28 GeV) d'électronvolts, de 200 m de diamètre.

Ce dernier est le plus puissant en service en Europe et un seul le dépasse actuellement, le synchrotron de 33 GeV à Brookhaven, près de New York. Le tableau ci-après (qui apparaîtra en annexe au mois de décembre) indique quels grands accélérateurs existent, qu'ils soient en service, en construction ou en projet.

Dans la dernière catégorie, figurent les super accélérateurs en construction ou en projet dans le monde. On y trouve le grand accélérateur soviétique de Serpukhov, une machine de 70 GeV dont la construction se poursuit activement dans les forêts de bouleaux et de sapins, à 100 km au sud de Moscou. Son électro-aimant annulaire s'étend sur 472 m de diamètre.

Le projet américain d'accélérateur à 200 GeV suppose un budget de construction de 375 millions de dollars pour une machine annulaire de 1 400 m de diamètre, à construire sur l'un des six sites retenus comme possibles parmi les quelque deux cents pro-

posés en 1965 par 45 Etats ; son électro-aimant compterait 480 unités totalisant 17 400 tonnes de fer et 1 820 tonnes de cuivre.

Une proposition européenne porte, elle, sur un synchrotron de 300 GeV, de 2 400 m de diamètre et 7 500 m de circonférence, dont la description détaillée figure plus loin.

Les principes de fonctionnement de ces machines sont identiques à ceux mis en œuvre par tous les synchrotrons à protons modernes ; leur description figure ci-après.

Comment fonctionne un accélérateur ?

Le fonctionnement des accélérateurs varie selon le type de machine envisagé. On trouve en effet des accélérateurs linéaires ou circulaires et, dans chaque catégorie, il existe divers procédés d'accélération, tandis que différents types de particules peuvent être accélérés.

On se limitera ici à décrire le fonctionnement de l'accélérateur à 28 GeV du C.E.R.N., un synchrotron à protons dont les principes correspondent à ceux envisagés pour les superaccélérateurs.

La première phase est manifestement d'obtenir des particules projectiles à accélérer : des protons. Les protons, provenant d'atomes d'hydrogène gazeux, sont séparés de leurs électrons par une source d'ions.

Ils sont ensuite introduits dans un préaccélérateur de 500 000 électronvolts, avant de recevoir d'un accélérateur linéaire, de nouvelles poussées successives traduites par une énergie cinétique de 50 millions d'électronvolts (50 MeV), ou une vitesse de l'ordre du tiers de celle de la lumière.

Les particules atteignent de cette façon l'extrémité, l'aiguille hypodermique en quelque sorte, du système d'injection. En l'espace de six microsecondes, on les introduit dans le synchrotron proprement dit, c'est-à-dire dans la partie circulaire de la machine de 200 m de diamètre. Le tube vide d'air qui leur sert de « champ de course » y décrit un cercle complet de 628 m de circonférence. Là, les protons sont accélérés par les champs électriques produits par 15 cavités d'accélération réparties sur cette distance.

De plus, un champ magnétique croissant engendré par les 100 unités d'électro-aimants d'une trentaine de tonnes chacun, localise les particules sur leur orbite de 200 m de diamètre, dans les limites du tube à vide de 14 x 7 cm de section. Des électrodes détectant la position du faisceau de particules par rapport aux parois du tube à vide contribuent à réaliser cette performance, terme qui n'a rien d'exagéré si l'on considère, d'une part, les dimensions indiquées et, d'autre part, le fait que les protons décrivent en une seconde — la durée du cycle d'accélération — presque 480 000 tours dans l'enceinte à vide. Leur parcours y dépasse ainsi les trois quarts de la distance entre la Terre et la Lune.

Au terme de l'accélérateur, la vitesse des particules atteint 99,94 % de celle de la lumière, soit environ 300 000 km par seconde.

A ce moment, leur énergie vaut 28 milliards d'électronvolts.

Chose curieuse, avec l'accroissement de leur vitesse, les protons subissent aussi un accroissement de masse, vérifiant ainsi une fois de plus un chapitre essentiel de la Théorie de la Relativité d'Einstein. Dans le grand accélérateur du C.E.R.N., par exemple, cet accroissement est de 28 fois au maximum.

Le faisceau primaire de protons à très haute énergie, et de masse très accrue, peut alors frapper une cible dans l'enceinte à vide elle-même. Les débris d'atomes et de noyaux perturbés par l'impact, ainsi que les nouvelles particules créées par conversion d'énergie en masse, forment des « faisceaux secondaires », observés à l'aide des détecteurs dont il a été question plus haut (émulsions photographiques, compteurs électroniques, chambres à traces). L'alternative consiste à éjecter le faisceau primaire en un point donné et à le diriger directement vers les salles d'expériences.

Le développement de la physique subnucléaire en Europe

La moisson de renseignements sur les phénomènes subnucléaires fournis par le grand accélérateur européen de 28 GeV et sa machine-sœur de 33 GeV à Brookhaven, U.S.A., a soulevé de nouvelles questions auxquelles il ne pourra être répondu qu'à l'aide de machines fournissant des particules sondes de caractéristiques plus précises encore. C'est pourquoi des discussions se sont tenues pour définir les installations que l'Europe pourrait construire à l'avenir.

Un comité de physiciens européens fut chargé de déterminer les machines dont la physique nucléaire fondamentale devrait se servir d'ici à dix ans environ sur notre continent. Ce comité a recommandé un programme destiné à pousser plus avant les recherches fondamentales et à doter l'Europe et ses

(Suite page 125)

Voici le synchrotron à protons du C.E.R.N. C'est un imposant bâtiment annulaire à protons à gradient alterné de 28 GeV (28 milliards d'électronvolts), ayant un diamètre de 200 mètres. Les protons sont accélérés jusqu'à 99,94 % de la vitesse de la lumière. A gauche, on voit quelques-unes des 100 unités de l'électro-aimant de guidage, d'un poids total de 3 400 tonnes, placées sur une poutre antichoc, en béton, isolée du bâtiment annulaire.



les modifications, il n'y a pas de limite au prix.

La plus grosse surprise qu'a connue jusqu'à présent la nouvelle firme, c'est la rapidité de sa progression. N'ayant converti que deux modèles 1962 — en vue des essais, — ils ont produit quinze « 1964 » et quatre-vingt-cinq « 1965 ». Elle compte transformer environ deux cents modèles « 1966 ». Leur usine, qui n'était à l'origine qu'un garage dans le quartier West Side de Chicago, occupe maintenant trois grands bâtiments. Le personnel est passé de quatre employés à quarante-cinq. Les parois, les cuvettes de plancher et les autres éléments d'agrandissement des voitures, qui étaient autrefois exécutés de façon artisanale, sont maintenant commandés à des fournisseurs et normalisés. Tout semble indiquer que la progression se poursuivra.

« On peut dire sans exagérer qu'il y a une queue pour la voiture, dit Lehmann. Notre liste d'attente varie suivant la saison, mais la tendance est très nette. Nous n'allongeons pas les voitures à une cadence assez rapide. »

Accélérateur gigantesque de 300 GeV

(Suite de la page 79)

divers Etats d'accélérateurs capables de continuer à retenir sur le continent les physiciens et les ingénieurs qualifiés. Le programme de ce « Comité européen des futurs accélérateurs » a proposé de mener à bien la construction d'accélérateurs nationaux et, sur le plan continental, de réaliser les projets suivants, dont les deux premiers ont été approuvés par le Conseil du C.E.R.N. :

1° Améliorer les installations existantes du C.E.R.N. en augmentant le nombre de particules accélérées par impulsion du synchrotron de 28 GeV et en disposant de détecteurs plus perfectionnés, de très grandes chambres à bulles, par exemple.

2° Construire deux anneaux de stockage à intersections. Il s'agit ici de deux anneaux concentriques, déformés de façon à s'entrecroiser, où des protons de haute énergie fournis par le synchrotron de 28 GeV seront emmagasinés avant d'être amenés en collision presque frontale. Cet article améliorera le « rendement » de l'accélérateur, pour ce qui est de certaines expériences en tout cas.

Cet appareil de 300 m de diamètre sera édifié sur le territoire français voisin du C.E.R.N. Sa construction prévue jusqu'en 1972 coûtera quelque 332 millions de francs suisses au prix de 1965.

3° Construire un nouvel accélérateur de protons d'une énergie d'environ 300 GeV. Cette machine, d'un diamètre de 2 400 m, serait installée en un point d'Europe encore indéterminé. C'est de cette proposition qu'il est question dans ces notes.

Pourquoi construire un accélérateur géant ?

Il peut sembler paradoxal que l'étude de

des petits guides d'un grand secours



GUIDE DES RÉPARATIONS

Toutes les réparations concernant la maison : murs et plafonds, sols, portes et fenêtres, canalisations, appareils sanitaires, chauffage, installation électrique, appareils électroménagers, meubles et sièges, ... ; réparations de la maison, des véhicules.

TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT DANS LA MAISON

Travaux de maçonnerie, installation électrique, menuiserie, peinture, papier peint, revêtements, ...

CONSEILS D'ARCHITECTURE ET DE DÉCORATION

Habitat, installation fonctionnelle des pièces, confort moderne, rangement, idées pratiques, protection du logis, ...

dans la même collection :

COUTURE D'AMEUBLEMENT ET OBJETS DÉCORATIFS - AMBIANCES ET DÉCORS - HISTOIRE DES STYLES DÉCORATIFS - L'ENFANT, conception, enfance, adolescence - SAVOIR-VIVRE - ORGANISATION ET ACHATS MÉNAGERS - LE DROIT ET VOS DROITS.

Chaque volume (12,5 x 17,5 cm), couverture pelliculée en couleurs, environ 200 pages, 6 hors-texte en couleurs, 300 illustrations en noir, index.

COLLECTION PRATIQUE DE POCHE LAROUSSE

CHEZ TOUS LES LIBRAIRES

Accélérateur gigantesque de 300 GeV

(Suite de la page 79)

divers Etats d'accélérateurs capables de continuer à retenir sur le continent les physiciens et les ingénieurs qualifiés. Le programme de ce « Comité européen des futurs accélérateurs » a proposé de mener à bien la construction d'accélérateurs nationaux et, sur le plan continental, de réaliser les projets suivants, dont les deux premiers ont été approuvés par le Conseil du C.E.R.N. :

1° Améliorer les installations existantes du C.E.R.N. en augmentant le nombre de particules accélérées par impulsion du synchrotron de 28 GeV et en disposant de détecteurs plus perfectionnés, de très grandes chambres à bulles, par exemple.

2° Construire deux anneaux de stockage à intersections. Il s'agit ici de deux anneaux concentriques, déformés de façon à s'entrecroiser, où des protons de haute énergie fournis par le synchrotron de 28 GeV seront emmagasinés avant d'être amenés en collision presque frontale. Cet article améliorera le « rendement » de l'accélérateur, pour ce qui est de certaines expériences en tout cas.

Cet appareil de 300 m de diamètre sera édifié sur le territoire français voisin du C.E.R.N. Sa construction prévue jusqu'en 1972 coûtera quelque 332 millions de francs suisses au prix de 1965.

3° Construire un nouvel accélérateur de protons d'une énergie d'environ 300 GeV. Cette machine, d'un diamètre de 2 400 m, serait installée en un point d'Europe encore indéterminé. C'est de cette proposition qu'il est question dans ces notes.

Pourquoi construire un accélérateur géant ?

Il peut sembler paradoxal que l'étude de

des petits guides
d'un grand secours



GUIDE DES RÉPARATIONS

Toutes les réparations concernant la maison : murs et plafonds, sols, portes et fenêtres, canalisations, appareils sanitaires, chauffage, installation électrique, appareils électroménagers, meubles et sièges, ... ; réparations de la maison, des véhicules.

TRAVAUX D'AMÉNAGEMENT DANS LA MAISON

Travaux de maçonnerie, installation électrique, menuiserie, peinture, papier peint, revêtements, ...

CONSEILS D'ARCHITECTURE ET DE DÉCORATION

Habitat, installation fonctionnelle des pièces, confort moderne, rangement, idées pratiques, protection du logis, ...

dans la même collection :

COUTURE D'AMEUBLEMENT ET OBJETS DÉCORATIFS - AMBIANCES ET DÉCORS - HISTOIRE DES STYLES DÉCORATIFS - L'ENFANT, conception, enfance, adolescence - SAVOIR-VIVRE - ORGANISATION ET ACHATS MÉNAGERS - LE DROIT ET VOS DROITS.

Chaque volume (12,5 x 17,5 cm), couverture pelliculée en couleurs, environ 200 pages, 6 hors-texte en couleurs, 300 illustrations en noir, index.

COLLECTION PRATIQUE DE POCHE LAROUSSE

CHEZ TOUS LES LIBRAIRES

fragments de matière toujours plus infimes, toujours plus évanescents, requière des instruments continuellement plus puissants et complexes. Souvenons-nous, toutefois, que les dimensions des particules envisagées sont extrêmement petites et plus loin souhaite-t-on sonder l'infiniment petit, plus fines doivent être les sondes, plus fortes donc les énergies de pénétration des particules-projectiles.

L'expérience d'un passé récent montre d'ailleurs que la physique contemporaine se trouve sur la bonne voie.

Depuis 10 ans, en effet, de remarquables progrès ont été faits en physique des corpuscules élémentaires. Pour étudier cet univers submicroscopique, on a eu certes recours à des phénomènes naturels fournis par le rayonnement cosmique, mais on a surtout exploité les ressources des accélérateurs de particules, capables de fournir des particules-sondes de grandes énergies, parfaitement définies, en des endroits et à des moments bien précis.

Grâce à ces instruments, on a découvert qu'il existe plus de 100 états différents de particules, pour la plupart de vie très brève. Les principales caractéristiques de la plupart de ces états ont été déterminées : leur masse, leur charge électrique, leur spin (rotation), leur durée de vie, etc.

L'« explosion de population » qui se manifeste chez toutes ces particules — ou plutôt tous ces *états* de particules — indique qu'elles ne sont pas « élémentaires » et qu'il faut étudier la question encore plus loin et plus en détail.

C'est ce que nous allons faire le mois prochain, lorsque nous présenterons la deuxième et dernière partie de cette étude sur l'accélérateur gigantesque de 300 GeV, projeté par le C.E.R.N. Cette réalisation donnera à l'Europe un synchrotron neuf fois plus fort que l'accélérateur de Brookhaven, U.S.A., le plus puissant au monde à l'heure actuelle.