

Dobna: Vingt années de recherche internationale en physique nucléaire

En 1956, un accord portant création de l'Institut unifié de recherche nucléaire (IURN) fut signé au Présidium de l'Académie des sciences de l'Union soviétique. Depuis lors, cet établissement est devenu un des grands centres internationaux de recherche en physique nucléaire. Le rapport ci-après, rédigé pour le Bulletin de l'Agence, fait le point de ses réalisations et de sa situation actuelle.

Vingt ans se sont écoulés depuis la création de l'Institut unifié de recherche nucléaire (IURN), premier centre scientifique international des pays socialistes.

Cet établissement fut fondé sur l'initiative du gouvernement de l'Union soviétique qui lui a affecté deux institutions de recherche de l'Académie des sciences de l'URSS situées à Dobna, près de Moscou. A l'Institut des problèmes nucléaires, des spécialistes de l'Union soviétique procédaient depuis 1949 à des études au moyen d'un accélérateur de protons, un synchrocyclotron de 680 MeV, et la construction, au Laboratoire d'électrophysique, d'un grand accélérateur, un synchrophasotron de 10 GeV, était en cours d'achèvement. Le principe dont s'inspirent l'un et l'autre de ces accélérateurs est celui de la stabilité de phase proposé par le Prof. V.I. Wexler. Les deux établissements permirent ainsi au personnel international de spécialistes du nouvel Institut d'entreprendre sans tarder des études expérimentales dans le domaine de la physique des hautes énergies.

L'IURN une fois créé, l'étape suivante fut la fondation du Laboratoire de physique théorique doté d'un service de calcul, du Laboratoire des réactions nucléaires où l'on commença à construire un cyclotron pour l'accélération des ions lourds, et du Laboratoire de physique neutronique où l'on mit en chantier un réacteur pulsé à neutrons rapides. Le cyclotron et le réacteur sont entrés en service en 1960. L'expansion de l'institut exigeait l'établissement d'un laboratoire de calcul et d'automatisation, ce qui fut fait en 1966. Un service des nouvelles méthodes d'accélération fut créé en 1968.

A l'heure actuelle l'IURN constitue un des principaux centres scientifiques du monde et peut être rangé parmi les plus grands d'entre eux. En raison de leur dimension et de leur champ d'activité, chacun des laboratoires mériterait la qualification d'institut. Leur personnel et celui de leurs ateliers comptent plus de 6 000 personnes. Les hommes de science de l'Institut ont mené à bien une série d'études importantes qui intéressent un vaste secteur de la science moderne, notamment les domaines suivants: physique théorique, physique des particules élémentaires, physique neutronique et nucléaire, élaboration de techniques fondées sur l'emploi d'accélérateurs et mise au point d'appareils de physique.

L'essor de l'IURN est favorisé par les principes démocratiques dont s'inspirent son organisation et ses activités, par l'existence d'une base expérimentale unique, par les relations étendues qu'il entretient sur le plan international, et, avant tout, par le talent de ses collaborateurs scientifiques. A l'heure actuelle, ses 900 spécialistes comptent cinq académiciens, huit membres correspondants d'académies des sciences, 90 docteurs ès science et 380 licenciés ès science.

Les hommes de science de l'IURN ont rédigé plus de 50 monographies. Chaque année ses collaborateurs publient près de 1600 études et articles dans les revues scientifiques et les actes de conférences et ils ont fait environ 17 découvertes. Dans leurs rangs se trouvent des prix Lénine et des prix Nobel. Plusieurs de leurs réalisations furent récompensées par des prix et médailles honorifiques que leur ont décernés des Etats Membres de l'Institut.

PHYSIQUE DES PARTICULES ELEMENTAIRES

Le théoriciens de l'Institut ont suggéré, dans leurs travaux, des idées et méthodes inédites qui ont stimulé la recherche à l'Institut même et dans d'autres centres scientifiques. Pour ce qui est de la physique des particules élémentaires, ils ont énoncé les principes d'une expression mathématiquement rigoureuse de la théorie quantique du champ, et permis ainsi de justifier la méthode des relations de dispersion. Cette méthode a influencé le développement de toute la physique des particules élémentaires, notamment celui de la théorie des fortes interactions. On a élaboré aussi la méthode du quasi-potential concernant la théorie de la diffusion et celle de l'état stationnaire. Parmi les travaux liés aux principes fondamentaux des diverses théories, certains ont porté sur la géométrie de l'espace-temps à courte distance, sur le principe de la causalité, etc.

En partant des idées et méthodes inspirées par la théorie quantique du champ et la théorie de la superfluidité, on a réalisé un modèle semi-microscopique (ou superfluide) du noyau qui permet de mieux comprendre la nature des états quasi-particulaires et collectifs des noyaux déformés. Les prévisions ont été confirmées par de nombreuses expériences effectuées à Doubna et dans d'autres établissements.

Une grande partie des expériences exécutées sur le synchrophasotron sont consacrées à l'étude de la production des particules étranges d'une énergie allant jusqu'à 10 GeV. En 1960, les scientifiques de l'Institut ont découvert une nouvelle particule: l'hypéron anti (Σ^-).

A la suite d'études prolongées sur les états de résonance des particules, on a observé plusieurs nouvelles résonances et examiné les caractéristiques de résonances déjà connues. Parmi les découvertes qui ont été faites figure celle de la désintégration du méson ρ^0 donnant une paire électron-positron.

Des expériences effectuées pendant plusieurs années sur la diffusion élastique et non-élastique des particules élémentaires ont fourni des renseignements intéressants sur leur structure et permis de vérifier les conclusions fondamentales de la théorie en vigueur.

Depuis quelques années le synchrophasotron est employé dans le cadre d'une nouvelle discipline scientifique, à savoir la physique nucléaire relativiste ce qui rend possible l'étude des collisions entre noyaux aux hautes énergies.

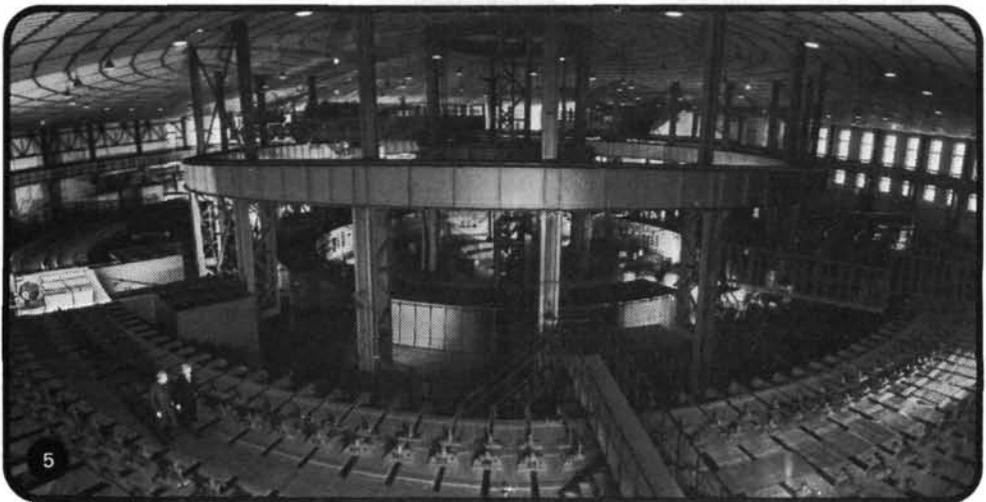
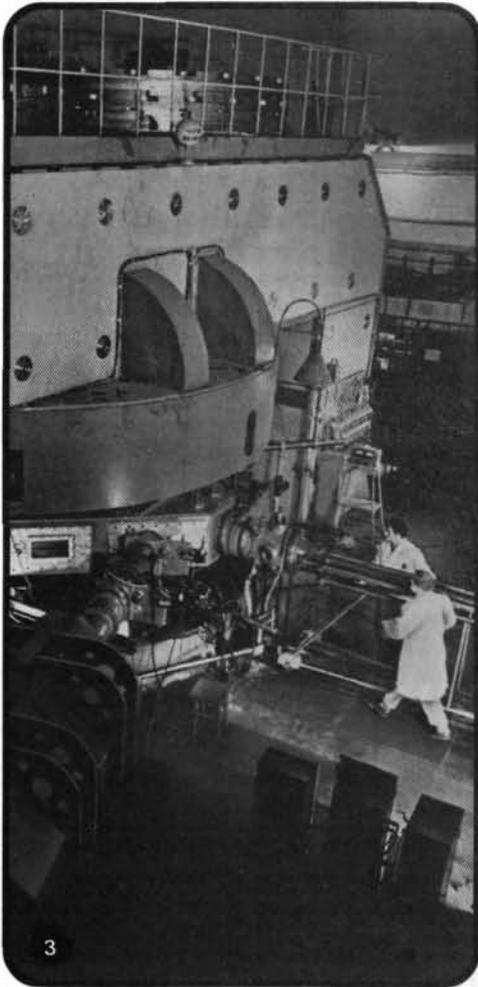
Les recherches d'avant-garde relatives à la diffusion nucléons-nucléons, effectuées avec le synchrocyclotron pour des énergies allant jusqu'à 680 MeV, ont fourni des données importantes sur les forces nucléaires. La loi de l'indépendance de ces forces à l'égard de la charge a été confirmée par des expériences visant à étudier les interactions pions-nucléons. Le bien-fondé du principe de la causalité a été démontré par voie expérimentale et l'on a déterminé la constante d'interaction pion-nucléon.

Des expériences sur des processus rares mettant en jeu des mésons ont confirmé les conclusions de la théorie de l'interaction faible universelle. Des hommes de science de l'Institut ont mis en évidence la désintégration β des pions. Au cours d'expériences sur la capture de muons par ^3He , ils ont observé des noyaux de recul provenant de neutrinos associés aux muons, et la symétrie muon-électron a pu être confirmée. Un nouveau phénomène physique — l'échange de charge pion-noyau — a été découvert.



- 1 L'Institut unifié de recherche nucléaire de Doubna organise une soixantaine de réunions scientifiques par an. Sur la photo, la Conférence internationale sur l'instrumentation pour la physique des hautes énergies, qui a réuni plus de 200 spécialistes de 27 pays.
- 2 Le Centre de mesure du Laboratoire de physique des neutrons recueille et traite avec son ordinateur BESM-4 des données provenant des faisceaux de neutrons d'un réacteur pulsé. Les données dont le traitement exige des ordinateurs plus puissants sont transférées au Centre de mesure de l'Institut.
- 3 Le cyclotron U-300 accélère les ions d'éléments allant du carbone 12 au zinc 16 avec une énergie d'environ 10 MeV par noyau.
- 4 Installation du corps d'une chambre à hydrogène de deux mètres, "Ludmila", utilisée pour des expériences avec l'accélérateur de Serpukhov.
- 5 Le synchrophasotron, le plus grand accélérateur de l'Institut, accélère des protons jusqu'à 10 GeV, des deutérons jusqu'à 11 GeV et des particules jusqu'à 22 GeV.





Depuis, une vingtaine d'années, on poursuit des études de spectroscopie nucléaire sur les isotopes obtenues par irradiation de cibles à l'aide du synchrocyclotron. Les physiciens de l'Institut ont pu ainsi identifier plus d'une centaine de radioisotopes nouveaux.

ANTIMATIÈRE

Un vaste programme de recherche est en cours d'exécution avec l'accélérateur de 76 GeV de l'Institut de physique des hautes énergies de Serpoukhov, le plus grand appareil de ce genre en Union soviétique. Il a déjà permis d'étudier la diffusion protons-protons et protons-deutérons. Une chambre à bulles au propane de 2 mètres a été exposée à un faisceau de pions de 40 GeV et, à l'heure actuelle, l'installation fonctionne avec une chambre à hydrogène liquide de 2 mètres, dite "Ludmila". Des expériences sont également en cours à l'aide d'un spectromètre à étincelles sans pellicule et d'un spectromètre à étincelles magnétique de cinq mètres, tous deux construits à Doubna. Une série de travaux exécutés par des hommes de science de l'Institut ont abouti à la découverte expérimentale du noyau d'antitritium, ce qui marque une nouvelle étape dans l'étude de l'antimatière.

Après la mise en service à Batavia (Etats-Unis d'Amérique) de l'accélérateur de protons de 400 GeV, un des premiers travaux auxquels il a été affecté, fut une étude expérimentale faite en commun par des physiciens de Doubna et de Batavia sur la diffusion protons-protons et protons-deutérons à angles faibles. Les expériences avaient lieu au moyen d'une cible à jet élaborée à Doubna, puis expérimentée sur l'accélérateur de Serpoukhov. Ces travaux complétés par ceux de Serpoukhov ont fourni des indications importantes sur la structure du nucléon et sur le rôle des forces nucléaires dans les interactions entre protons à des énergies très diverses allant jusqu'à 400 GeV.

Les spécialistes de l'IURN poursuivent leurs études à l'aide d'accélérateurs à Serpoukhov, à Erevan et à Batavia.

Le cyclotron de trois mètres dont dispose l'Institut permet d'accélérer de puissants faisceaux d'ions pour une grande variété d'éléments allant du bore au zinc. En utilisant simultanément ce cyclotron et un cyclotron isochrone de deux mètres du type U-200, on est parvenu à accélérer des ions encore plus lourds, jusqu'à ceux du xénon.

Grâce aux réactions induites par les ions lourds, les spécialistes de l'IURN ont réalisé la synthèse de divers isotopes des éléments les plus lourds. Les propriétés chimiques des transuraniens de courte période sont étudiées par une méthode de chromatographie en phase gazeuse élaborée à Doubna. Un des objectifs visés est de rechercher dans la nature des éléments superlourds à nombre atomique allant de 114 à 126.

Des expériences avec des ions lourds d'une durée de plusieurs années ont abouti à la découverte de nouveaux phénomènes physiques: la fission spontanée de noyaux à périodes anormalement courtes provenant de l'état isomère et un nouveau type de décroissance radioactive avec émission de protons retardés. Des réactions de transfert au moyen d'ions lourds ont permis de synthétiser plus de trente nouveaux isotopes d'éléments légers, avec un fort excédent de neutrons.

Le réacteur pulsé à neutrons rapides IBR-30 constitue une source unique de bouffées de neutrons périodiques intenses et de courte durée qui facilitent grandement les expériences de physique par la méthode du temps de vol. Les études spectrométriques ont permis de réunir une documentation importante sur les résonances neutroniques, notamment sur les spins et les largeurs de niveau de ces états. On a obtenu un faisceau neutronique polarisé d'une énergie de 10 KeV, ce qui a permis d'étudier l'interaction entre neutrons polarisés et noyaux polarisés d'une cible. En appliquant des méthodes inédites, on mesure

les moments magnétiques des états nucléaires fortement excités, et l'on étudie la décroissance alpha des résonances neutroniques de noyaux ainsi que l'émission de rayonnement gamma accompagnant la capture radiative des neutrons de résonance.

Les scientifiques de l'IURN ont procédé à des expériences sur la découverte de neutrons ultrafroids et sur leur stockage dans des "bouteilles" fermées. La dynamique des solides et des liquides fait l'objet d'études au moyen de faisceaux de neutrons par des méthodes élaborées à Doubna.

SERVICE DE CALCUL

L'Institut dispose d'un grand service de calcul qui est actuellement doté d'une soixantaine d'ordinateurs électroniques de catégories diverses. Le principal centre de calcul est connecté avec les centres de mesure des laboratoires qui utilisent des ordinateurs miniaturisés ou de taille moyenne. Le service se charge de travaux très variés comportant le traitement et l'analyse des données expérimentales, la commande et le contrôle des opérations effectuées dans les grandes installations de physique, la solution de problèmes mathématiques complexes, etc.

Le grand nombre de renseignements provenant des chambres à traces est traité au moyen d'un appareil automatique à balayage par "rayon mobile", d'un appareil de mesure hélicoïdal, d'un dispositif automatique à tube électronique, d'un ensemble de quinze appareils semi-automatiques et de tables d'examen. Toutes ces installations sont connectées avec les ordinateurs.

Nombre d'études effectuées à l'Institut visent à améliorer les accélérateurs en service et à élaborer de nouvelles techniques d'accélération. Le premier accélérateur de Doubna, le synchrocyclotron, est sur le point d'être transformé en un phasotron à courant intense. Le synchrophasotron accélère plus vite les deutérons et les noyaux d'hélium et de carbone; il est ainsi devenu le premier accélérateur relativiste de noyaux, et un programme étendu de recherches au moyen de faisceaux de ces particules est en cours de réalisation. Les spécialistes de l'Institut élaborent à présent un nouveau projet d'accélérateur relativiste cryogène de noyaux, dénommé "nuclotron".

La mise au point de procédés d'accélération des ions lourds progresse de façon satisfaisante. Après la construction d'un cyclotron classique de trois mètres, on a créé à Doubna un cyclotron isochrone de deux mètres à champ magnétique intense. A l'heure actuelle, un nouveau cyclotron puissant de quatre mètres est en chantier.

De nombreux travaux concernent l'élaboration d'accélérateurs à courant intense et à variation spatiale du champ magnétique. Un cyclotron relativiste dit "super-cyclotron" est à l'étude.

L'Institut préconise pour l'accélération des particules chargées une méthode absolument nouvelle, dite "collective". Ses fondements théoriques ont déjà été élaborés et des expériences sont en cours.

La première étape de ces travaux est la construction d'un accélérateur d'ions lourds. A cette fin, on a créé un puissant accélérateur linéaire d'électrons, divers types d'agglomérateurs pour la confection d'amas de forme annulaire, des commutateurs pour courants intenses, des appareils pour le diagnostic des anneaux, etc. Un ensemble de résonateurs cryogènes et d'aimants supraconducteurs, dit "Koltsetron", destiné à accélérer les anneaux d'électrons et d'ions est en voie de réalisation.

COOPERATION INTERNATIONALE

La coopération scientifique sur le plan international est à la base des activités déployées par l'Institut unifié de recherche nucléaire. Depuis vingt ans, cette coopération s'est considérablement diversifiée et élargie. A l'heure actuelle, les équipes internationales d'hommes de science et d'ingénieurs travaillent pratiquement dans toutes les disciplines scientifiques. Les sujets traités par l'Institut en coopération avec des laboratoires nationaux de ses pays membres ne cessent de se multiplier d'année en année. Sur la base de cette coopération, on procède à des recherches théoriques et expérimentales, on entreprend l'étude et la construction d'appareils de physique et de radio-électronique, etc. Onze pays sont membres de l'Institut, à savoir: Bulgarie, Hongrie, Cuba, Mongolie, Pologne, République démocratique allemande, République démocratique populaire de Corée, Roumanie, Tchécoslovaquie, Union des Républiques socialistes soviétiques et Vietnam.

Une forme de collaboration, qui fut ultérieurement appelée "physique à distance", n'a cessé de se développer dès les premières années d'existence de l'Institut. Des préparations radioactives obtenues à l'aide des accélérateurs de Doubna sont envoyées à des laboratoires de différents pays à des fins de recherche. La coopération entre laboratoires s'élargit de façon à permettre de traiter simultanément une grande quantité de données expérimentales: émulsions photographiques irradiées dans les accélérateurs de l'Institut, pellicules de chambres à bulles et bandes magnétiques contenant les résultats de mesures faites dans des installations électroniques expérimentales.

L'Institut entretient des contacts scientifiques, non seulement avec les institutions de ses pays membres, mais aussi avec des établissements de physique de pays non-membres et des organisations internationales. La coopération est particulièrement satisfaisante avec l'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN), l'Institut Niels Bohr, l'Institut Laue-Langevin de Grenoble et des centres scientifiques de France, d'Italie, de Finlande, du Royaume-Uni, de Suisse, d'Inde, de Yougoslavie et de la République fédérale d'Allemagne. Des hommes de science de l'Institut ont mené à bien, en commun avec des physiciens des Etats-Unis, un certain nombre d'expériences au moyen des accélérateurs de Serpoukhov et de Batavia.

Ils participent à toutes les grandes conférences scientifiques internationales et à nombre de réunions, de colloques, etc. tenus dans divers pays. L'Institut organise systématiquement tous les ans une quarantaine de réunions, conférences, cours, etc. sur des sujets scientifiques. Plus de mille spécialistes de différents pays se rendent chaque année à Doubna pour y participer à des travaux communs, procéder à des consultations ou assister à des réunions. En revanche, plus de cinq cents scientifiques de l'Institut se rendent tous les ans, dans ce même but, dans les pays membres de l'établissement et d'autres pays.

L'INSTITUT UNIFIE ET L'AGENCE

En 1973, l'Institut unifié de recherche nucléaire et l'Agence internationale d'énergie atomique ont signé un protocole qui prévoit non seulement des échanges de documentation mais aussi d'autres formes de coopération. Ainsi, l'Institut donne à l'Agence la possibilité d'organiser des réunions scientifiques à Doubna, participe au Système international de documentation nucléaire de l'Agence (INIS), met à la disposition de l'Agence des bourses dans le cadre du programme d'assistance technique aux pays en voie de développement et envoie ses spécialistes aux conférences, colloques et réunions scientifiques, organisés par l'Agence ou par le Centre international de physique théorique de Trieste.

Les questions de collaboration sont régulièrement examinées pendant les séjours que font le Directeur général de l'AIEA, M. S. Eklund, et d'autres fonctionnaires supérieurs de l'Agence à Doubna et des membres de la direction de l'Institut à Vienne. Dès sa création,

L'Institut a été autorisé à se faire régulièrement représenter par un observateur aux sessions annuelles de la Conférence générale de l'Agence.

L'Institut et l'Agence maintiennent un échange continu de documentation scientifique et s'informent mutuellement sur l'organisation de réunions spécialisées. A diverses reprises, l'Agence a organisé des réunions à Doubna et des spécialistes de l'Institut ont pris part à celles de l'Agence consacrées à INIS, aux constantes nucléaires et aux problèmes que pose l'utilisation des méthodes nucléaires dans les sciences et la technologie.

Bien que leurs tâches fondamentales ne soient pas identiques, l'Agence et l'Institut ont néanmoins des intérêts communs dans les domaines suivants: techniques expérimentales (électronique nucléaire); automatisation des opérations de mesure des constantes nucléaires; commande de systèmes complexes à l'aide d'ordinateurs; traitement des données expérimentales; applications de méthodes de mesure nucléaires dans les techniques nucléaires, dans l'industrie, en agriculture, dans les sciences naturelles et en médecine.

L'expérience que l'IURN a acquise dans ces domaines peut contribuer à élargir encore sa coopération avec l'Agence.

En faisant le point des vingt années d'activité de l'Institut, il convient de rappeler que sa valeur réside non seulement dans ses études scientifiques, qui ont donné des résultats exceptionnels, et ses réalisations techniques, mais aussi dans le fait qu'il est devenu une école unique pour la formation d'hommes de science et d'ingénieurs de ses pays membres, ainsi qu'un établissement d'enseignement hautement qualifié dans divers domaines de la physique moderne. Nombre de spécialistes formés à Doubna dirigent maintenant des équipes de chercheurs, des départements techniques ou des institutions scientifiques, et d'autres sont devenus professeurs, voire académiciens.

L'Institut unifié de recherche nucléaire a entrepris la réalisation de son cinquième plan quinquennal. Il y a peu de temps, a été approuvé un nouveau programme d'extension de cet établissement, dont l'objectif essentiel est de créer une base expérimentale moderne de premier ordre et d'orienter la recherche scientifique vers les domaines de la physique qui présentent un intérêt d'actualité. Ce programme reflète la grande importance que les pays membres de l'Institut attachent à ses activités et témoigne de l'intérêt qu'ils ne cessent de lui manifester.