

LES LASERS

LASERS ET PHYSIQUE NUCLEAIRE

DEPUIS plusieurs années en U.R.S.S., R.-V. Khokhlov étudie les moyens à mettre en œuvre pour réaliser un laser émettant des rayons gamma. L'un de ses collègues, V.-S. Letokhov vient de rejoindre les rangs des partisans de Khokhlov en publiant un article théorique, décrivant ce que pourrait être un laser-gamma, émettant un faisceau d'énergie comprise entre 10 000 et 60 000 électrons-volts (fig. 1). Le laser fonctionnerait sur des états nucléaires isomériques de courte durée de vie (0,1 à 10 secondes). Dans le schéma qui est proposé, des atomes d'une cible auraient, initialement leur noyau excité par un faisceau de neutrons lents; ces atomes seraient ensuite arrachés de la structure solide les retenant grâce à un premier laser, puis ils seraient excités spécifiquement au moyen d'un second laser, et les atomes ainsi excités subiraient alors une photo-ionisation par un troisième laser. Il y aurait, alors, émission d'un faisceau laser-gamma.

Ce schéma requiert une phase de photo-ionisation spécifique : seuls les atomes dont les noyaux auront été excités par le faisceau neutronique doivent subir cette

opération. Le processus décrit est très semblable à un processus utilisé auparavant par un collègue de V.-S. Letokhov : R.-V. Ambartsumyan, pour la séparation isotopique de l'azote.

En effet, R.-V. Ambartsumyan a appliqué, sur un mélange gazeux d'ammoniac contenant les isotopes¹⁴ et 15 de l'azote, simultanément un faisceau laser et une radiation ultraviolette. Le laser employé est un laser accordable à gaz carbonique, fonctionnant en régime impulsif (impulsions de 300 nanosecondes et d'énergie atteignant 60 mégajoules), du type « à excitation transversale »; une décharge électrique produit les radiations ultraviolettes en impulsions de durée égale à 400 nanosecondes. L'expérience a été menée en emplissant une enceinte d'ammoniac gazeux NH_3 contenant, en égales quantités, les isotopes 14 et 15 de l'azote, à une pression de 20 millimètres de mercure : après séparation isotopique, l'enceinte contenait 4 parts d'isotope 15 pour une part de l'isotope 14. Il y a donc un enrichissement considérable en isotope 15. Le faisceau laser, absorbé par l'ammoniac, engendre une vibration des électrons, ce qui

donne naissance à une nouvelle raie spectrale d'absorption dans l'ultraviolet : les molécules de l'isotope 15 peuvent alors absorber un faisceau ultraviolet, et l'on choisit judicieusement la source ultraviolette (les décharges électriques) pour que ses radiations soient absorbées par l'ammoniac excité, contenant l'isotope 15 de l'azote. Ces molécules se trouvent dès ce moment encore davantage excitées, et subissent une dissociation.

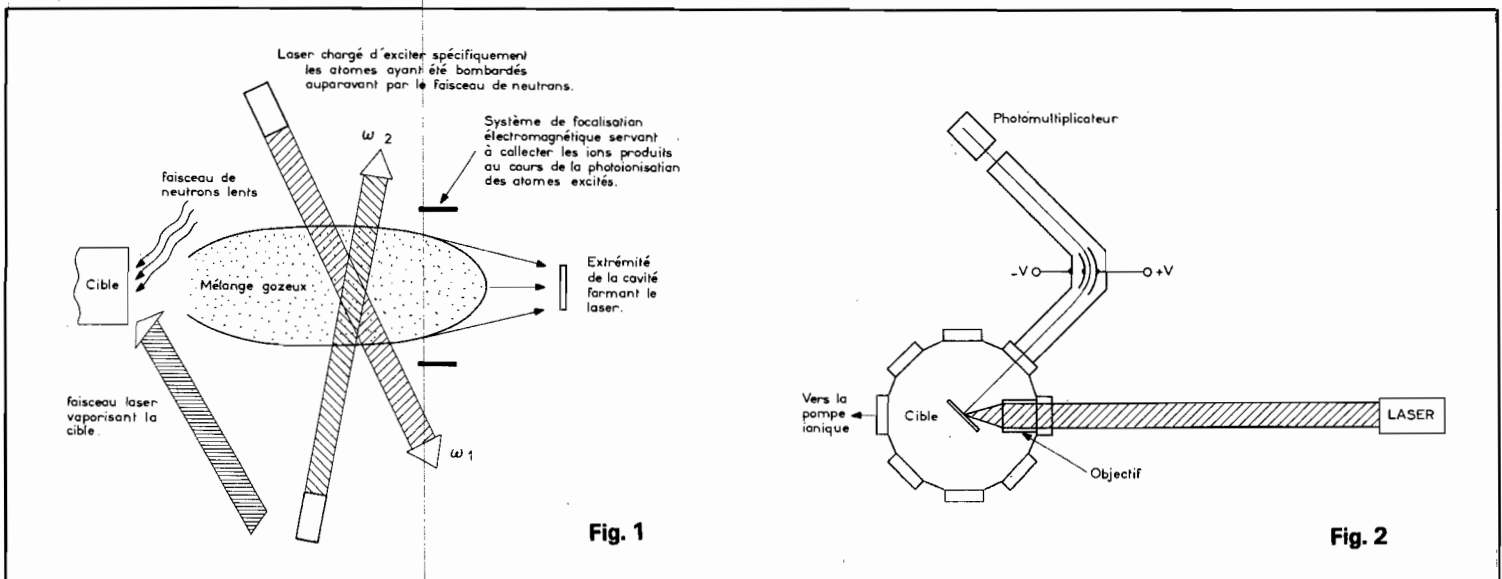
physique des plasmas seront menées au moyen d'un laser produisant des impulsions d'une centaine de joules en quelques nanosecondes; ultérieurement, un laser de l'ordre du kilojoule sera utilisé. Les derniers amplificateurs de ce laser seront constitués de plaques de verre au néodyme et non de disques ou de barres comme dans les montages usuels) de 60 cm de longueur, 23 cm de largeur et 4,5 cm d'épaisseur.

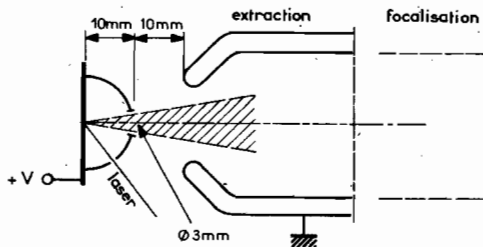
Actuellement, les principaux travaux soviétiques sur la physique des plasmas sont réalisés à l'Institut Lebedev. On y poursuit des recherches sur la compression de combustible thermonucléaire, en vue de réaliser des expériences de fusion par laser : par exemple, avec un laser en verre au néodyme à 9 faisceaux, on est parvenu à comprimer 40 fois du polyéthylène contenant du deutérium, ce qui conduit à des masses volumiques de 40 g/cm³ au sein du plastique; c'est, pratiquement, une masse volumique double de celle des matériaux les plus denses, à la pression ambiante. De telles densités sont favorables au confinement par inertie d'un plasma fin qui serait créé par un laser. Le laser utilisé émet des impulsions de 400

OU L'ON REPARLE DE FUSION PAR LASER**

Le laser, en U.R.S.S., est l'un des outils les plus précieux du physicien nucléaire. La preuve nous en est encore fournie ces derniers mois dans le domaine de la fusion par laser : à 40 km de Moscou vient de s'ouvrir un institut de recherches sur la fusion thermonucléaire; cet institut, situé à Krasnaya Pakhra, dirigé par E.-V. Velikhov, qui travaillait auparavant, avec une équipe de 500 personnes, à l'Institut Kurchatov de l'Énergie Atomique.

Les premières expériences de





a Extraction des ions en cours de détente d'un plasma. les ions les plus énergétiques partent normalement vers la cible : dans un cône d'ouverture 10° alors que le nombre d'ions de toutes les charges ne représente que 3 à 4% du nombre d'ions total projeté, on dispose de plus de 70% des ions très chargés.

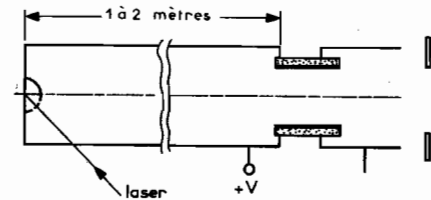


Fig. 3

b Extraction des ions après détente du plasma

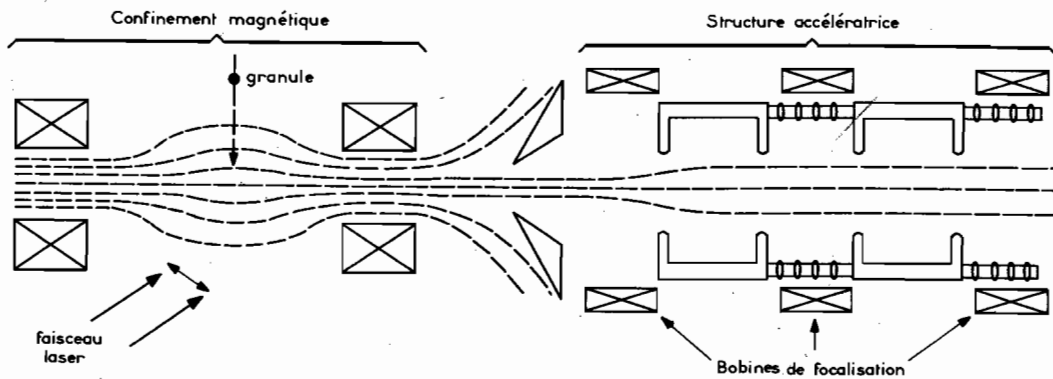


Fig. 4

joules, d'une durée de la nanoseconde. Un autre laser, à 16 faisceaux, est en construction au Lebedev; il produira entre 1,5 et 3 kilojoules en des impulsions de 5 à 10 nanosecondes; il pourra émettre 10 kilojoules en des impulsions de bien plus longue durée. Les 16 faisceaux, focalisés sur un foyer commun, permettront de créer un plasma 10^{21} particules par centimètre-cube.

Un autre laser, également construit au Lebedev, délivrera 10 kilojoules en 2 nanosecondes.

Les travaux sur la fusion par laser se poursuivent également activement aux États-Unis, où de très importants résultats sont attendus dans les semaines à venir, à Ann Arbor. On parviendrait à ce que l'on appelle, outre-Atlantique le « breakeven » :

l'énergie émise lors de la fusion d'une pastille de combustible thermonucléaire serait égale à l'énergie du faisceau laser ayant servi à déclencher la réaction thermonucléaire. Le « breakeven » signifie qu'il sera possible d'utiliser la fusion thermonucléaire pour la production d'énergie. L'expérience sera tentée par la firme KMS Fusion Inc., au moyen d'un système amplificateur laser construit par la société française C.G.E. (Compagnie Générale d'Électricité), avec cependant des modifications (en particulier, le verre utilisé initialement a été remplacé par un verre type ED-2 de Dwens-Illinois).

Dans le montage réalisé par KMS, le faisceau issu de l'amplificateur possède une énergie comprise entre 250 et 350 joules;

il est injecté dans 7 modules amplificateurs construits par General Electric, chaque module étant constitué par 3 disques en verre; l'énergie du faisceau sortant pourrait atteindre 1 400 joules.

LES LASERS PRODUISENT AUSSI DES IONS LOURDS

Dans les expériences de fusion thermonucléaire, le laser agit sur des particules légères tels que le deutérium ou le tritium.

L'interaction laser-matière peut être mise à profit, dans une toute autre gamme d'expériences, celle de la production d'ions lourds (carbone, beryllium, fer, aluminium...).

Ces ions lourds intéressent d'abord les physiciens nucléaires, par la possibilité de faire réagir un noyau complexe sur un autre. Les résultats que l'on attend de semblables études sont de deux sortes : de nouvelles informations concernant des processus connus et déjà explorés dans des réactions plus classiques; et des informations sur des mécanismes spécifiques des ions lourds et qui sont donc entièrement nouveaux.

Outre la physique et la chimie nucléaires, la physique du solide, la métallurgie, l'astrophysique, la physique atomique peuvent également bénéficier d'expériences menées avec des ions lourds. Les utilisations techniques concernent, par exemple, l'implantation de certaines espèces ioniques dans des semi-conducteurs.

On savait, depuis les débuts des recherches sur les interactions laser-matière que des ions multichargés sont émis lors de l'impact d'un faisceau laser intense sur une surface solide. De fructueux contacts avec les physiciens nucléaires de la Faculté des Sciences d'Orsay et de l'Institut de Physique Nucléaire de Lyon, ont encouragé les physiciens du centre de Limeil à orienter certaines de leurs recherches sur l'interaction vers la production d'ions lourds multichargés au moyen de lasers. Un montage expérimental a été mis au point par le CEA à Limeil (fig. 2) : le faisceau d'un laser au néodyme est focalisé sur une cible solide placée à l'intérieur d'une enceinte où règne un vide de l'ordre de 10^{-6} millimètre de mercure. Une large gamme de cibles,

(suite page 149)

* Les isotopes sont des éléments chimiques identiques qui ne diffèrent que par les masses de leurs atomes. Ainsi, la masse atomique de l'azote « normal » est égale à 14 g; il existe un

isotope de l'azote dont la masse atomique vaut 15 g.

** Revoir, à ce sujet, les trois précédents numéros du Haut-Parleur.

LASERS ET PHYSIQUE NUCLÉAIRE

(Suite de la page 143)

du beryllium au plomb, ont été utilisées. On produit ainsi un plasma dense très chaud, et, par conséquent, riche en ions très chargés. Ce plasma présente la propriété particulière de se détendre à très grande vitesse dès sa formation. Par exemple, avec une cible en fer, la bouffée de plasma contient des ions de fer ayant perdu jusqu'à 20 de leurs électrons (on dira que l'ion aura une charge + 20, puisqu'ayant perdu des électrons négatifs, il sera devenu un ion positif).

L'expérience montre que tous les éléments, sans exception, peuvent être ionisés, depuis l'hydrogène jusqu'à l'uranium. Les éléments les plus faciles à mettre en œuvre sont évidemment les solides, mais les éléments gazeux à la température ordinaire peuvent aussi être ionisés après avoir été transformés en glaçons dans un cryostat.

Le laser utilisé émet des impulsions de durée égale à 30 nanosecondes; la quantité d'ions produits en 30 nanosecondes est considérable : 10^{15} ions par impulsion pour une cible en fer éclairé par un flux de $2 \cdot 10^{12}$ W/cm². Ces ions ont une énergie cinétique très importante, étalée de 0 à 25 kilo électrons-volts, et l'expansion du plasma est donc très rapide (100 km/s). Pour obtenir un faisceau d'ions à partir d'un tel plasma, des montages ont été étudiés, au CEA, pour extraire des ions en cours de détente du plasma, près de la cible (fig. 3).

Pour obtenir un faisceau utilisable pour des mesures de physique atomique, on peut envisager d'extraire des ions après détente du plasma : on laisse le plasma se détendre jusqu'à ce que sa densité devienne suffisamment faible pour que le champ électrique puisse agir en volume sur les charges.

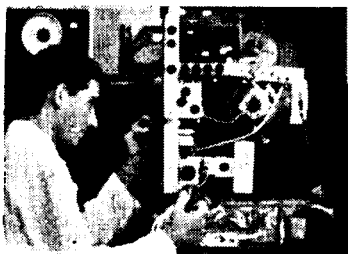
Au Culham Laboratory, il a été suggéré d'extraire des ions après confinement magnétique. Le faisceau laser est focalisé sur une graine, et le plasma formé est focalisé dans une bouteille magnétique (fig. 4).

Parmi les applications susceptibles d'être trouvées aux ions

lourds, celles qui mettent en jeu des réactions nucléaires conduisant à la formation de noyaux de nombre atomique très élevé, retiennent particulièrement l'attention. De telles synthèses ont été réalisées à Dubna, en U.R.S.S., en bombardant des cibles d'uranium ou d'éléments transuraniens par des noyaux de l'isotope 22 du néon. C'est ainsi que l'on a déjà obtenu les noyaux de nombres de charge 104 et 105. Cette technique permettrait la synthèse d'autres nouveaux éléments transuraniens super-lourds.

Marc FERRETI

MAITRISE DE L'ÉLECTRONIQUE



COURS PROGRESSIFS
PAR CORRESPONDANCE

L'INSTITUT FRANCE
ÉLECTRONIQUE

24, rue Jean-Mermoz - Paris (8^e)
Ecole privée d'enseignement à distance

FORME **l'élite** DES
RADIO-ÉLECTRONICIENS

MONTEUR • CHEF MONTEUR
SOUS-INGÉNIEUR • INGÉNIEUR
TRAVAUX PRATIQUES

PRÉPARATION AUX
EXAMENS DE L'ÉTAT

(FORMATION
THÉORIQUE)
PLACEMENT



Documentation **HRB**
sur demande

BON à découper ou à recopier! Veuillez m'adresser **HRB23**
sans engagement la documentation gratuite.
(écoulement d'emplacements pour frais d'envoi).

NOM
ADRESSE

infra

AUTRES SECTIONS D'ENSEIGNEMENT : Dessin Industriel, Aviation, Automobile