

Energía nuclear a partir de los isótopos del hidrógeno

por J.A. Phillips*

En una sala oscura el silencio es cortado por el seco crepitar de una bomba, el zumbido de los transformadores, los chasquidos de relés que se cierran.

Una luz relampagueante ilumina parcialmente un conjunto complejo de tuberías, cables y bobinas.

En un rincón,

un grupo de hombres escudriñan cámaras fotográficas o están frente a cuadros de instrumentos que son como un ascua de luces titilantes.

Suena una campana, los obturadores de las cámaras se cierran, y varios segundos después sobreviene una tremenda detonación con un relámpago cegador.

Alguien grita,

***“CALIBRAR LOS OSCILOSCOPIOS,
CERRAR LOS OBTURADORES,***

DENTRO DE DOS MINUTOS LA SIGUIENTE FOTO“.

Actividades como ésta se desarrollan diariamente en muchos laboratorios de todo el mundo. Los programas se llaman de fusión termonuclear controlada o, en una palabra, de fusión. Su finalidad es unir núcleos de elementos ligeros, fundirlos en un núcleo compuesto que a continuación se desintegra liberando energía. La razón de estos trabajos es que hay energía disponible en los isótopos pesados del hidrógeno: el deuterio y el tritio. Ahora bien, el deuterio se encuentra en la naturaleza; por cada 7 000 átomos de hidrógeno hay uno de deuterio y todos sabemos donde el hidrógeno es más abundante — en el agua. Se calcula que los átomos de deuterio de un litro de agua común contienen una energía equivalente a 300 litros de gasolina “super”. En realidad, si uno considera las cantidades ingentes de agua que nos brindan los océanos, se trata de una fuente casi infinita de energía — a condición de que podamos utilizarla.

El interés de la comunidad científica por aprovechar esta fuente energética de modo controlado es general. Los problemas científicos y técnicos, que se describen a continuación, son arduos y hasta la fecha superan nuestras posibilidades. Sin embargo, para progresar lo más rápida y ordenadamente posible en estas investigaciones, existe el intercambio internacional de información en conferencias, simposios y cursos prácticos, tales como las

* Jefe de la Sección de Física, División de Investigaciones y Laboratorios.

recientes conferencias sobre física del plasma y fusión controlada celebradas en Suiza y el Reino Unido, y el seminario sobre la fusión por láser, en Trieste.

Las principales reglas para liberar la energía de los isótopos del hidrógeno pueden enunciarse muy sencillamente: 1) Calentar una pequeña cantidad de deuterio (un gas) hasta una temperatura de $100\ 000\ 000^{\circ}\text{C}$; a esta temperatura los núcleos se mueven con tal rapidez que pueden fundirse. 2) Contener la presión ejercida por el gas caliente, el plasma, por un tiempo de hasta varios segundos. Tras un momento de reflexión se da uno cuenta de un obstáculo mayúsculo: se trata del recipiente (la vasija del reactor) que ha de contener esta gas. Es evidente que ningún material puede resistir estas temperaturas durante mucho tiempo sin vaporizarse — baste recordar que la temperatura en la superficie del sol es de sólo $5\ 700^{\circ}\text{C}$. Esto es un desafío a la inventiva del hombre, y se han propuesto varios métodos que están siendo examinados. El más prometedor parece ser el consistente en crear un campo magnético entre el plasma y la pared del reactor — una capa aislante entre la región de alta temperatura y la pared, a través de la cual la transmisión de energía es mínima. Se han realizado, pues, experimentos con la finalidad de proyectar y ensayar diferentes **botellas magnéticas** que mantengan el plasma separado de las paredes y permitan su calentamiento hasta la temperatura necesaria para la fusión.

¿Cómo se puede calentar con una botella de éstas el gas hidrógeno hasta la temperatura requerida? Esta operación ha resultado ser una de las más sencillas y puede realizarse de distintos modos: haciendo pasar una corriente de varios miles de amperios a través del plasma, que así se calienta — lo mismo que en una estufa eléctrica; inyectando átomos neutros de alta energía (que, por ser neutros, atraviesan sin obstáculos el campo magnético) en el plasma, donde son ionizados y frenados, transmitiéndole así su energía; excitando el plasma con campos de radiofrecuencia. De esta manera se habrán satisfecho las condiciones para la fusión y la energía liberada por el plasma incandescente aparecerá en forma de una intensa radiación ultravioleta que calentará la superficie de la pared del reactor. Al refrigerar esta pared se podrá generar vapor. Igualmente, durante el proceso de fusión se emitirán muchos neutrones de alta energía; serán moderados en zonas fértiles de hidrógeno y utilizados para generar tritio, el tercer isótopo del hidrógeno, en revestimientos de litio. El tritio puede servir también como combustible.

DISPOSITIVOS EXPERIMENTALES

Con un entusiasmo sin límites, a principios de los años 50 se iniciaron las primeras tentativas serias en materia de fusión. Se construyeron dispositivos experimentales bautizados con nombres exóticos tales como perhapsatrons (nombre inglés que alude a lo incierto de la empresa), scyllacs, stellarators, zetas (foto 1), máquinas de espejos, etc. A fines de los años 50 en los Estados Unidos se calentó la primera fracción de plasma hasta una temperatura termonuclear, con ignición nuclear detectable. Sin embargo, pronto se descubrió que la Madre Naturaleza se reservaba varias sorpresas; en particular la zona interfacial plasma-campo magnético no permanecía estable sino que rápidamente, en una milésima de segundo o menos, se dislocaba dejando que el plasma caliente atravesase el campo magnético. De esta manera el plasma se enfriaba con pérdida de contención. En retrospectiva puede decirse que fue aquella una época de gran éxito para los teóricos, que en cada conferencia sobre fusión anunciaban a los pobres experimentadores una nueva inestabilidad, una nueva vía por la que podía escaparse el plasma. Se observó que las oscilaciones perturbaban primero la superficie, en la que se formaban curvas y ondas que originaban la ruptura de la misma, seguida por una turbulencia general.

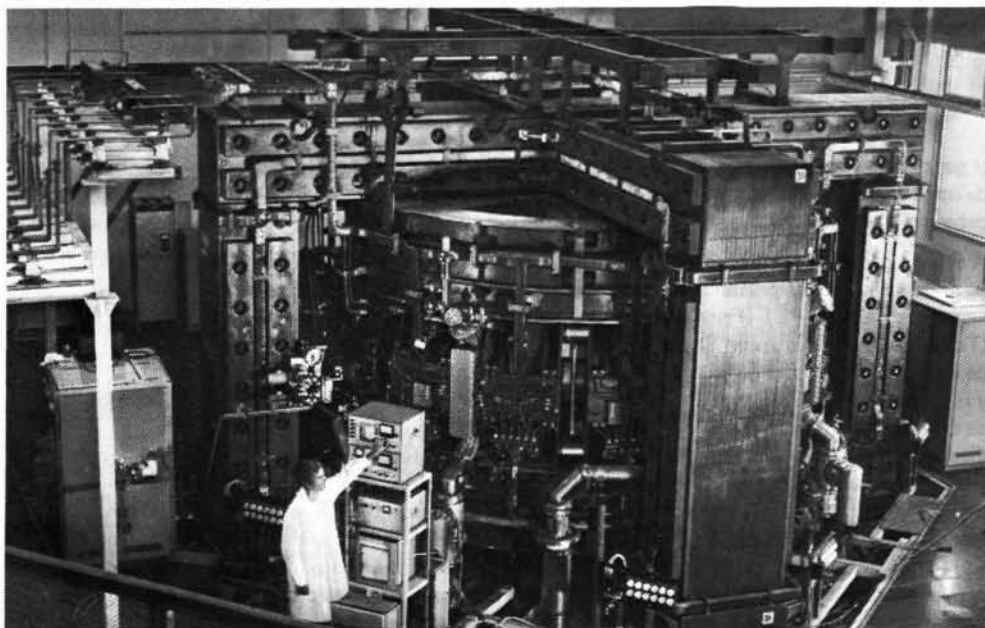
EL TOKAMAK

En los últimos años, después de ímprobos trabajos teóricos y experimentales, parece haberse conseguido un conocimiento básico de la física de la contención del plasma. Además, con una máquina concebida en la Unión Soviética, el Tokamak, se han logrado resultados sumamente alentadores, la contención de plasmas calientes (10 millones de grados) y



Scyllac, el dispositivo experimental de tipo toroidal y estricción azimutal del Laboratorio Científico de Los Alamos, Nuevo México (Estados Unidos de América). La cámara de descarga, de cuarzo, está situada dentro del anillo de aluminio; los innumerables cables son para conducir la corriente necesaria a fin de activar el calentamiento y los campos magnéticos de contención. Foto: Los Alamos Scientific Lab. (foto 1).

El gran dispositivo experimental tokamak T-10, terminado recientemente de construir en el Instituto Kurchatov, Moscú (Unión Soviética). El tubo de descarga tiene un diámetro interno de 78 cm, un campo magnético toroidal de 5 Tesla y una corriente de descarga de 0,8 millones de amperios. Foto: Instituto Kurchatov (foto 2)



relativamente en reposo, durante milisegundos. La mayoría de los principales laboratorios de todo el mundo han construido hoy día máquinas experimentales de la misma concepción y reproducido estos resultados.

En las últimas conferencias se han dado a conocer los progresos técnicos conseguidos en centros de investigación de todo el mundo. En las máquinas tokamak se contienen plasmas estables durante decenas de milisegundos, a temperaturas de 20 000 000 de grados. En algunos dispositivos experimentales se está eliminando la peligrosa contaminación debida a los átomos pesados emitidos por las partes metálicas de la máquina, mientras que otros dispositivos son relativamente limpios. Sin embargo, los tiempos de confinamiento de la energía, que indican hasta qué punto la capa aislante (el campo magnético) logra separar

HISTORIA DEL CONSEJO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES SOBRE LA FUSION, CREADO POR EL ORGANISMO

En 1968 el OIEA llegó a la conclusión de que, en vista de lo mucho que se estaba trabajando en el campo de la fusión nuclear, convenía establecer un órgano internacional que permitiese a los países que realizaban programas de investigación en materia de fusión intercambiar ideas y examinar sus programas, asesorando al mismo tiempo al Organismo. Después de conversaciones preliminares entre los principales expertos de dichos países, se convocó una reunión inicial para principios de 1970. Como primera medida se decidió evaluar las posibilidades de conseguir electricidad por fusión y distribuir una lista de las principales instalaciones en todo el mundo. Esta reunión tuvo lugar en Trieste en junio de 1970, publicándose a continuación un informe en la revista "Fusión Nuclear" del Organismo. Después de celebrar consultas con los Gobiernos, el Organismo decidió establecer con carácter permanente el Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión. Se invitó a los 10 países más avanzados en esas investigaciones a que designasen cada uno un miembro del Consejo; la primera reunión oficial del Consejo Internacional de Investigaciones sobre la Fusión se celebró en Madison (Estados Unidos) en 1971 durante una de las conferencias sobre fusión patrocinadas por el Organismo.

el gas caliente de las paredes frías, siguen siendo bastante cortos en todos los experimentos, de unas 20 milésimas de segundo. Se considera que para un reactor de fusión este tiempo debe multiplicarse por cien e incluso quizá por mil.

A este respecto, el programa de fusión está entrando en una etapa apasionante y decisiva. Se encuentran en las primeras fases de funcionamiento dos grandes dispositivos experimentales, el PLT (Princeton Large Tokamak) en los Estados Unidos, y el T-10 (Tokamak-10) en la Unión Soviética (véase la foto 2). Una característica importantísima de ambos es su gran tamaño con un espacio aislante más amplio entre el gas caliente y la pared metálica. Si nuestras ideas sobre los efectos de escala son correctas, los tiempos de contención en estas máquinas deberían ser mucho mayores que en los anteriores dispositivos. De ser así, esto constituirá un fuerte estímulo para construir máquinas enormes y muy costosas capaces de producir energía equivalente a la necesaria para calentar el plasma (para satisfacer los denominados criterios de Lawson). Esto sería una realización espectacular. Dispositivos experimentales de estas características se están estudiando hoy día en la Unión Soviética, el Japón, la EURATOM y los Estados Unidos. Se están preparando planes para construir un reactor de fusión que produzca energía eléctrica, a fines de los años 90 o a comienzos del próximo siglo, cuando se disponga de información relativa a estas

máquinas. Los presupuestos para las investigaciones sobre fusión siguen la evolución de los progresos técnicos. En los Estados Unidos, por ejemplo, para el año fiscal de 1976 se prevén 140 millones de dólares, y se han pedido sumas todavía más elevadas para los años siguientes.

LOS LASERES

En los últimos años se han investigado también otros métodos para conseguir la energía que brinda la fusión, por ejemplo, enfocar sobre una pequeña pastilla de deuterio un intenso haz luminoso hasta vaporizar la superficie. El gas caliente en expansión comprime a su vez la pastilla, aumentando su densidad y elevando la temperatura hasta la necesaria

Desde entonces, el Consejo sobre la Fusión se ha reunido como mínimo una vez al año, por regla general en un lugar donde se celebraba una importante conferencia de fusión.

El Consejo ha pasado a ser una tribuna en la que se discuten libremente los principales programas de investigaciones en materia de fusión que se realizan en diversos países. Es la primera vez que se examinan de antemano, en un plano verdaderamente internacional, costosos experimentos que se van a emprender.

El Consejo ha estado y está en excelentes condiciones para asesorar al Organismo acerca de un programa coherente de investigaciones sobre fusión que abarque todas las actividades del Organismo, desde la asistencia técnica y becas, programas de investigación, cursos, reuniones de expertos y simposios, hasta las publicaciones, en particular la Revista de Fusión Nuclear. Se cree que esta colaboración especial bien podría tener como resultado grandes proyectos internacionales.

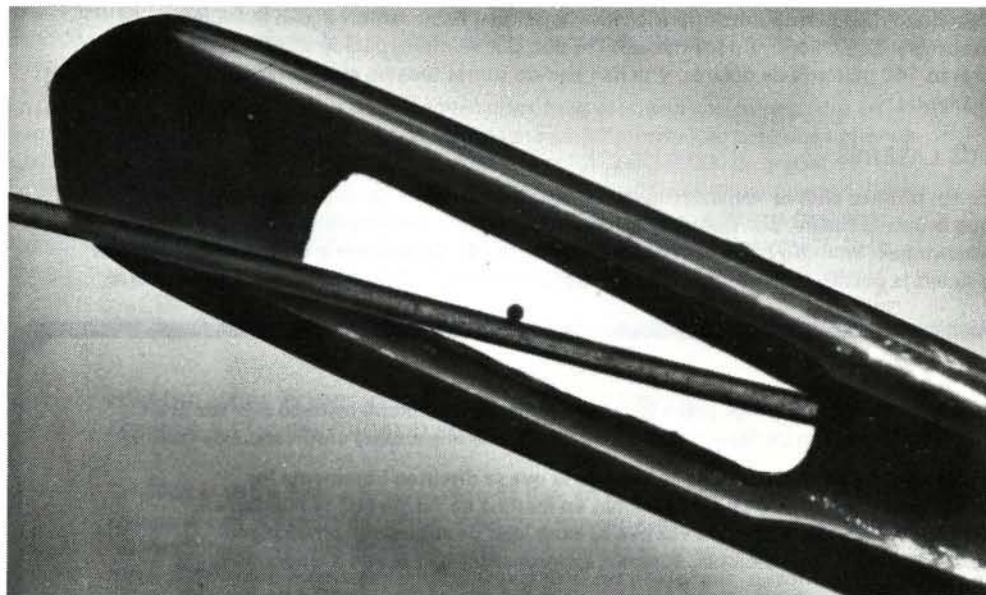
El OIEA torna su mirada con gratitud a las realizaciones de estos 5 o 6 últimos años, agradeciendo a los países que ejecutan proyectos importantes de fusión la gran asistencia y valioso asesoramiento que le han prestado, testimoniando así el propósito común de la comunidad internacional: conseguir la electricidad de fusión lo antes posible. El CIIF creado por el Organismo ha sido reconocido como la autoridad competente en lo relativo a las investigaciones internacionales sobre fusión

H. Seligman

para la ignición termonuclear. La potencia que debe tener el haz luminoso es enorme, $\sim 10^{14}$ vatios, es decir $\sim 100\ 000$ julios en 1 piconsegundo (10^{-12} segundos), lo que sólo puede conseguirse desarrollando láseres muy potentes. En muchos países se efectúan experimentos sobre el método de fusión por láser, así se denomina, y se están anunciando las primeras reacciones nucleares conseguidas a temperaturas verdaderamente termonucleares.

En la actualidad la potencia de los láseres es muy baja y las pastillas utilizadas como blanco tienen que ser muy pequeñas. En la foto 3 puede verse una de las microsferas, una diminuta cuenta hueca de vidrio, de unas 50 micras de diámetro, que contiene hidrógeno a una presión superior a 50 atmósferas. ¡En la foto la microsfera descansa sobre un cabello y la gran abertura es el ojo de una aguja! Hoy día es opinión generalizada que, gracias a estos blancos, se han conseguido las condiciones necesarias para la ignición termonuclear de mezclas de deuterio y tritio en forma gaseosa. Con los potentes láseres ahora en desarrollo y construcción, es posible que a fines de los años 70 o principio de los 80 se satisfagan las condiciones requeridas por los criterios de Lawson.

El interés por la fusión se debe ante todo al enorme potencial energético que encierran los isótopos pesados del hidrógeno. (El primer reactor de fusión quemará deuterio y tritio,



Fotografía de una microesfera utilizada ahora en los experimentos de fusión por láser. La microesfera (diámetro de ~ 50 micras, contiene una mezcla gaseosa de D-T a una presión de 50 atmósferas) descansa sobre un cabello. La gran abertura que se ve en la foto es el ojo de una aguja. Foto: Los Alamos Scientific Lab. (foto 3)

los dos isótopos pesados del hidrógeno, lo que requerirá la generación de tritio en zonas fértiles de litio, quemando entonces, en realidad, deuterio y litio. En la segunda fase, con reactores más avanzados, es posible que se utilice deuterio solo.) Asimismo, un reactor de fusión por su propia naturaleza no entraña riesgos, ya que la fuerza explosiva de la cantidad de combustible presente en el mismo en cualquier momento es despreciable. No hace falta la presencia de ningún material fisiónable. Sin embargo, incluso sus más entusiastas partidarios reconocen que estos reactores tienen repercusiones sobre el medio ambiente, en particular riesgos de radiactividad. Se planteará el problema de la manipulación en condiciones de seguridad del tritio en forma gaseosa y habrá además la radiactividad inducida en la estructura metálica. Estas dificultades son superables y afortunadamente transcurrirá todavía cierto tiempo antes de que el reactor de fusión sea una realidad.

EL OIEA

La fusión constituye un desafío apasionante para la comunidad científica internacional y en este aspecto el Organismo desempeña un papel importante: celebración de conferencias internacionales de física del plasma e investigación sobre la fusión termonuclear controlada cada dos años, organización de cursos y seminarios sobre temas concretos con participación internacional, publicación de artículos científicos y memorias panorámicas en la revista "Fusión Nuclear" y acopio y ordenación de datos moleculares, atómicos y nucleares para la fusión, procedentes de archivos de todo el mundo.

Durante los últimos 20 años, aproximadamente, las investigaciones sobre fusión han sido para algunos de nosotros un trabajo lleno de contrariedades y de promesas. Los trabajos se están ampliando con la llegada de nuevos hombres, nuevas ideas y dinero. Incluso si surgen obstáculos inesperados que se opongan al progreso, hay algo de lo que podemos estar seguros y es que, siendo el hombre como es, no cabe la menor duda de que un día u otro obtendrá electricidad de las reacciones termonucleares controladas.