

HACIA LA FUSION NUCLEAR

Las posibilidades de utilización de la fusión nuclear controlada son mucho más complicadas de lo que se creía -o, al menos, de lo que creía el público en general- cuando en la Conferencia de Ginebra sobre la Utilización de la Energía Atómica con Fines Pacíficos, de 1955, se habló con tono optimista de "domesticar" las reacciones termonucleares a fin de aprovecharlas para la producción de energía utilizable. Efectivamente, hoy en día ya no es posible suscitar el entusiasmo general que despertó lo que pronosticó el Presidente de la Conferencia, Doctor Homi J. Bhabha (India), acerca de la energía termonuclear y las ulteriores revelaciones según las cuales los estudios sobre la fusión nuclear controlada progresaban activamente en algunos de los países de técnica más adelantada.

Todo el mundo se percató inmediatamente de lo que esta posibilidad representaba y se hicieron múltiples declaraciones, llenas de esperanza, acerca de lo que representaría para el mundo la generación de energía a base de las reacciones de fusión. "Cuando esto sea un hecho", dijo el Dr. Bhabha en su discurso, "los problemas energéticos del mundo habrán quedado completa y definitivamente resueltos, pues el combustible será tan abundante como el hidrógeno pesado de los océanos". Y los comentaristas científicos notaron en señalar que por cada 6500 átomos de hidrógeno ordinario hay un átomo de hidrógeno pesado (deuterio) y que hasta el hidrógeno-3 (tritio)-que escasea en la naturaleza pero es de gran utilidad para las reacciones de fusión- podría producirse en cantidad suficiente bombardeando hidrógeno pesado con neutrones procedentes de un reactor atómico. Dicho en otras palabras, las reservas de combustible eran prácticamente inagotables y muy pronto un litro de agua valdría más que un litro de gasolina.

Cuando, a fines de 1957, se publicaron en la prensa los primeros informes acerca de los resultados obtenidos en la Gran Bretaña con el aparato termonuclear ZETA, se tuvo la impresión de que la fusión nuclear controlada había superado ya la fase teórica y el entusiasmo popular fue mayor que nunca. Sin embargo, los hombres de ciencia hicieron lo posible por dar a estos resultados su alcance real y pronto se pudo comprobar que se había exagerado su valor inmediato en las informaciones comunicadas al público. Al mismo tiempo se empezaron a conocer los resultados de experimentos análogos realizados en otros países, y cuando se examinaron de nuevo los obtenidos con la instalación ZETA parecieron menos alentadores que al principio.

La Conferencia de Ginebra de 1958 constituyó la primera oportunidad importante de discutir francamente y comparar los resultados obtenidos en dife-

rentes países. Hablando de este cambio de impresiones, el Profesor Edward Teller (Estados Unidos) dijo que era notable lo paralelamente que se habían desarrollado las investigaciones en los distintos países.

Las informaciones publicadas en 1958 pusieron de manifiesto que los problemas técnicos que era preciso resolver para controlar la fusión termonuclear eran formidables y que su solución sería probablemente mucho más difícil y exigiría mucho más tiempo de lo que se pensaba en general. El Profesor Teller manifestó que consideraba posible generar energía a base de reacciones termonucleares, pero que no sería "nada fácil". El Profesor L. A. Artsimovich (Unión Soviética) dijo lo siguiente: "No queremos pecar de pesimistas al evaluar el futuro de nuestra labor, pero tampoco debemos subestimar las dificultades con que tropezaremos antes de poder controlar la fusión termonuclear". El Dr. P. C. Thonemann (Reino Unido) opinó que hasta el próximo decenio no sería posible decidir si la generación de energía eléctrica "usando como combustible los elementos livianos" era factible y que, en caso afirmativo, se necesitarían otros diez años para averiguar si la nueva fuente de energía soportaba la competencia económica con las existentes.

La Conferencia de Salzburgo

Más de tres años han transcurrido desde que se levantó en Ginebra el secreto con que se efectuaban los estudios sobre la fusión termonuclear, y desde entonces se ha desarrollado una intensa actividad en

Sesión inaugural de la Conferencia sobre las Investigaciones en Materia de Física del Plasma y Fusión Nuclear Controlada, celebrada en Salzburgo



este terreno. Hace mucho tiempo que los círculos científicos se han percatado de la necesidad de evaluar estas actividades en el plano internacional, razón por la cual el Organismo Internacional de Energía Atómica convocó una Conferencia sobre las investigaciones en materia de física del plasma y de la fusión nuclear controlada, que se celebró en Salzburgo (Austria) en septiembre de 1961. Más de 500 hombres de ciencia de 29 países y de seis organizaciones internacionales asistieron a la Conferencia, que duró una semana; en ella se presentaron y discutieron más de 100 trabajos.

Resumiendo los resultados de los debates, el Profesor Artsimovich dijo lo siguiente: "En general, considerando el estado actual del problema, no cabe duda de que se ha progresado mucho desde la Conferencia de Ginebra de 1958. En aquella época, la mayor parte de las informaciones científicas consistía, en esencia, en una especie de "exposición de ideas". Casi todas estas ideas se fundaban en datos experimentales imprecisos y poco verificados, de carácter más bien exploratorio. Ahora, en cambio, en casi todos los sectores del programa general de investigaciones termonucleares se cuenta con numerosos estudios experimentales, cuidadosamente ejecutados, y con resultados valiosos y fidedignos que, en conjunto, constituyen una base suficientemente sólida para la rápida intensificación de las investigaciones futuras".

En otra reseña de la situación actual, el Dr. M. N. Rosenbluth (Estados Unidos), refiriéndose en particular a la física teórica, dijo: "Si bien es cierto, por desgracia, que la teoría no ha podido brindarnos una fórmula apropiada para construir una máquina termonuclear, no menos cierto es que desde hace muchos años venimos buscando con gran empeño una razón fundamental que impida construir un reactor a base de la fusión del plasma, sin que hasta ahora hayamos podido encontrarla". El Dr. Rosenbluth agregó: "Hablando con toda franqueza, creo que es muy posible que dentro de veinte años la Humanidad haya resuelto el problema de la fusión controlada, siempre que para entonces no haya sido derrotada en la lucha, mucho más difícil, contra la fusión sin controlar".

El problema fundamental

Antes de hablar de cualquiera de los temas concretos tratados en la Conferencia de Salzburgo, convendría exponer la naturaleza del problema fundamental. El principio de la fusión termonuclear -teoría que explica la liberación de energía en las estrellas incandescentes- fue descubierto hace muchos años y, con la famosa ecuación de Einstein sobre la equivalencia entre la masa y la energía, se determinaron los valores cuantitativos de la energía desprendida en distintas reacciones de fusión. Si dos núcleos atómicos livianos se funden para formar un solo núcleo, se suele registrar una considerable pérdida de masa y, por lo tanto, una enorme liberación de energía.

El problema estriba en lograr que los núcleos se fundan. La única forma de conseguirlo consiste en hacer que choquen uno con el otro, con suficiente fuerza. Se trata, pues, de impartir a los núcleos suficiente energía cinética para que puedan vencer su repulsión eléctrica mutua (todos los núcleos tienen carga positiva), manteniéndolos al mismo tiempo confinados dentro de un espacio reducido para que aumenten las probabilidades de colisión.

En el centro del sol y de otras estrellas, las reacciones de fusión se desarrollan a enorme presión y a temperaturas extremas. Algunas reacciones -por ejemplo, entre núcleos pesados de hidrógeno o entre hidrógeno pesado y tritio- no requieren condiciones tan rigurosas, pero incluso en este caso harían falta temperaturas de decenas de millones de grados y habría que confinar los núcleos acelerados durante el tiempo necesario para que se desarrollen las reacciones en escala suficiente.

En lo que se refiere al problema de la aceleración de los núcleos, se han obtenido temperaturas elevadísimas aplicando descargas eléctricas de enorme intensidad. En cuanto al confinamiento, una gran ventaja es que una descarga eléctrica intensa crea un campo magnético dentro del cual quedan encerradas las partículas cargadas; el apretamiento de las partículas que este fenómeno provoca es lo que se denomina efecto de constricción. Se puede reforzar el confinamiento provocando más líneas magnéticas de fuerza mediante el uso de dispositivos auxiliares. De este modo las partículas quedan encerradas dentro de una especie de caja magnética.

Esto parece relativamente sencillo; lo malo es que los núcleos sobrecalentados no se comportan, ni mucho menos, en la forma que esta simple explicación hace creer. A las elevadísimas temperaturas a que se efectúan estos experimentos, los átomos del material de fusión se ionizan casi por completo y los electrones en rotación se desprenden de los átomos, dejando solamente los núcleos con sus cargas positivas. Este gas ionizado, con sus electrones en libertad, constituye el plasma, que algunas veces se ha llegado a considerar como el cuarto estado de la materia.

El problema está en confinar el plasma caliente durante un período de tiempo suficientemente largo para que se inicien y desarrollen las reacciones de fusión. Por desgracia, a pesar del efecto de los campos magnéticos en el plasma tienden a manifestarse ciertas inestabilidades que hacen que las partículas escapen de su encierro. Gran parte de las investigaciones en curso se hacen con el propósito de comprender la índole y las causas de estas inestabilidades.

Comportamiento del plasma

La mayor parte de la materia que existe en el universo se presenta en forma de plasma (por ejemplo, en las estrellas incandescentes) y en nuestro planeta son muy frecuentes los plasmas (descargas gaseosas, llamas, etc.); sin embargo, se sabe muy

poco acerca del comportamiento del plasma y menos aún de sus aspectos dinámicos. Por eso actualmente hay una acusada tendencia a investigar la física del plasma, tanto teórica como experimental, a fin de adquirir conocimientos más completos de las propiedades del plasma a altas temperaturas.

Los estudios teóricos se basan en la denominada hipótesis magnetohidrodinámica, que considera al plasma como líquido conductor de la electricidad que sufre el efecto de los campos magnéticos y, a su vez, actúa sobre ellos. En esta hipótesis se hace caso omiso de la microestructura del plasma, que consiste en realidad en partículas energéticas que giran en campos magnéticos locales. Las interacciones de estas partículas provocan efectos sutiles que pueden observarse experimentalmente; la teoría del plasma sufre continuas modificaciones a medida que se pretende explicar los fenómenos observados.

El objeto de muchos de los trabajos experimentales es producir plasmas calientes puros que estén casi completamente aislados de sus envolturas materiales y que se conserven estables durante un tiempo suficientemente largo para que se puedan efectuar y repetir las observaciones. De esta manera es posible comprobar si la teoría del plasma es exacta y también se puede ver si se producen alteraciones imprevistas en las propiedades del plasma. Una variable importante que el experimentador tiene a su disposición es la configuración del campo magnético usado para encerrar el plasma. Como el plasma es muy poco inerte y como las fuerzas electromagnéticas necesarias para encerrar las partículas energéticas que constituyen el plasma son muy intensas, las inestabilidades inherentes tienden a desarrollarse con gran rapidez. Estas inestabilidades perturban mucho la observación del comportamiento del plasma y a menudo la hacen imposible.

Para evitar o retardar la aparición de las inestabilidades, es preciso crear campos magnéticos de configuración muy compleja, con variaciones espaciales e incluso cronológicas a veces, lo que impone una ruda tarea a la tecnología electromagnética. Pero, gracias a esto las investigaciones sobre física del plasma han dado lugar a importantes progresos en diversos campos técnicos: acumulación de energía eléctrica, diseño de las bobinas magnéticas, comutación exacta de las corrientes de alta intensidad, etc.

Reseña de la situación

En la Conferencia organizada por el OIEA en Salzburgo se examinaron detenidamente los aspectos teóricos y prácticos de esta labor. Entre los temas estudiados figuraban el confinamiento, estabilidad, oscilaciones y turbulencia del plasma; su compresión, calentamiento y aceleración; las ondas de choque en el plasma; las interacciones de las partículas y ondas electromagnéticas con el plasma, y las ondas y radiaciones del plasma.

En la reseña que hizo al finalizar los debates, el Profesor Artsimovich explicó algunas de las princi-



Sir George Thomson, famoso físico británico que asistió a la Conferencia, en una entrevista para la televisión y la radio

pales dificultades que entorpecen la consecución de la fusión termonuclear controlada. El plasma calentado a alta temperatura elimina fácilmente la energía acumulada "por medio de diversos mecanismos de inestabilidad y también por medio de radiaciones". El resultado es que en los experimentos realizados hasta ahora no ha sido posible confinar un plasma denso y caliente durante un período de tiempo superior a varios centenares de microsegundos (lo que no llega a una milésima de segundo). Además, la producción de un plasma de hidrógeno o de deuterio suficientemente puro es ya de por sí una tarea ímproba, debido a las interacciones del plasma con las sustancias de la superficie de las paredes de la cámara de vacío en que se desarrollan los experimentos. El Profesor Artsimovich habló también de lo difícil que es observar las propiedades del plasma: "Una columna de plasma, escondida tras envolturas metálicas y bobinas complicadas, es, por su inaccesibilidad y por su extrema sensibilidad a todo contacto, un tema de investigación muy poco "cómodo".

"Es digno de señalar", continuó el Profesor Artsimovich, "que el acervo de conceptos físicos fundamentales ha permanecido casi invariable. En los tres últimos años no se ha propuesto ningún método esencialmente nuevo para obtener plasmas a altas temperaturas. Al mismo tiempo, ha cambiado profundamente la importancia que se asignaba a cada una de las diversas tendencias que se manifiestan dentro del programa general. Cuando se comenzó a estudiar el problema de las reacciones termonucleares controladas, lo que más interesaba era la manera más sencilla de obtener altas temperaturas. El mejor método consistía en provocar descargas de impulso lineal, de enorme magnitud y brevísima duración. Esto es lo que se llama estricción lineal rápida. Gracias a las investigaciones sobre la estricción rápida realizadas en los Estados Unidos, en el Reino Unido y en la Unión Soviética (investigaciones que cada país desarrolló por su propia cuenta), todos los científicos que en ellas participaron consiguieron, incluso antes de la Conferencia de Ginebra,

hacerse una idea clara de los fenómenos que tienen lugar en esta clase de descargas, y pudieron descubrir el mecanismo básico que rige la dinámica de una columna de plasma. Como es sabido, este mecanismo consiste en la aceleración del plasma por acción de las fuerzas electrodinámicas.

Por más que en los experimentos con estricción lineal se hayan alcanzado temperaturas de más de un millón de grados para el plasma, pronto se puso de manifiesto que no cabía considerar a este método como un medio práctico de obtener reacciones term nucleares en escala suficiente para que el procedimiento resultara de interés desde el punto de vista tecnológico o físico".

El Profesor Artsimovich examinó a continuación los demás métodos e instalaciones que habían retenido la atención de los investigadores de los Estados Unidos, del Reino Unido y de la Unión Soviética, una vez desechada la estricción lineal: la "constricción Zeta", las instalaciones "Zeta", "Alfa" y "Cetro", el "Estelarator", "Astron", "Tokamak", "Ogra" y "DCX".

Para terminar, el Profesor Artsimovich dijo: "Hoy en día se ve claramente que todas nuestras suposiciones iniciales, que daban por sentado que las puertas de la deseada región de las temperaturas super elevadas se iban a abrir sin rechinar en cuanto las empujase la energía creadora de los físicos, eran tan infundadas como las esperanzas humanas de alcanzar el Paraíso sin pasar por el Purgatorio. A pesar de todo, no creo que quepa duda alguna de que en definitiva el problema de la fusión termonuclear controlada acabará por resolverse; lo que no sabemos es cuánto tiempo tendremos que quedarnos en el Purgatorio. Para salir de él tendremos que dominar la tecnología del vacío ideal, tendremos que conocer a fondo las configuraciones magnéticas y la geometría exacta de las líneas de fuerza, tendremos que haber prefijado un régimen de parámetros eléctricos y tendremos que llevar en nuestras manos el plasma calentado a enorme temperatura y, a pesar de ello, estable, en reposo y puro, tan puro como un concepto de física teórica que aún no se ha contaminado con el contacto de los experimentos".



Una reunión oficiosa de la Conferencia

El Dr. Rosenbluth, por su parte, reseñó las tendencias generales de la teoría que se habían revelado en la Conferencia. También señaló el espíritu de colaboración y de amistad que había caracterizado el libre intercambio de datos e impresiones efectuado durante la Conferencia.

La Conferencia celebró diez sesiones oficiales, y en la última se recapitulaban los debates. Presidieron las reuniones B. Lehnert (Suecia), A. E. Ruark (Estados Unidos), M. A. Leontovich (URSS), G. von Gierke (República Federal de Alemania), J. G. Linhart (Italia), E. Nagy (Hungría), P. C. Thonemann (Reino Unido), L. Spitzer (Estados Unidos), L. A. Artsimovich (URSS) y C. Vendryes (Francia).

Aparte de las sesiones oficiales, muchos y muy interesantes asuntos se trataron en 14 reuniones oficiosas organizadas a petición de los participantes. La opinión general fue que las reuniones oficiosas, que a menudo resultaron muy animadas, contribuyeron sobremanera al éxito de la Conferencia.

Los trabajos de la Conferencia se publicarán en tres números especiales de la revista científica del Organismo titulada "Fusión Nuclear".

LA CAPTACION DE RADIOYODO POR LA TIROIDES

La glándula tiroides produce diversos aminoácidos, todos los cuales contienen yodo; de ellos segrega diariamente una pequeña cantidad que es utilizada por los tejidos del cuerpo, pero la mayor parte queda almacenada en la glándula misma. Por lo tanto, casi la totalidad del yodo que contiene el cuerpo humano está concentrada en la tiroides. La glándula tiroides absorbe cada día de la sangre aproximadamente la cantidad de yodo necesaria para sustituir la que segrega incorporada en aminoácidos (hormonas tiroideas). Si un médico desea estudiar la función tiroidea del paciente y le administra una pequeña cantidad de yodo radiactivo, éste sigue el mismo proceso que el yodo ordinario que se toma con los alimentos y con el agua, es decir: una parte de la dosis administrada se acumula en la glándula, otra es excretada por los riñones y una cantidad muy pequeña va a otras partes del organismo. Por lo tanto, la determinación de la parte de la dosis de radioyodo captada por la glándula durante un tiempo determinado permite al médico reunir datos sobre el consumo diario de yodo y, de ellos, deducir la cantidad de hormonas tiroideas que se producen diariamente.

Las dos enfermedades más importantes, aunque no las más comunes, de la tiroides están relacionadas con una producción de hormonas superior a la normal (hipertiroidismo o tirotoxicosis) o con una producción inferior a la normal (hipotiroidismo o mixedema). Así, pues, en el primer caso se suele encontrar un aumento de la captación de radioyodo por la glándula y en el segundo una disminución. Como es natural, el médico dispone de otros medios para diagnosticar las disfunciones tiroideas -por ejemplo: observando signos y síntomas clínicos, determinando el metabolismo basal o recurriendo a otras pruebas- pero la medida de la captación de radioyodo por la tiroides da la indicación más directa de una producción anormal de hormonas, especialmente si se combina con otros ensayos con radioyodo, determinando, por ejemplo, la concentración del radioyodo hormonal en la sangre. También es frecuente encontrar un aumento de la captación de radioyodo en el trastorno más corriente de la tiroides, el bocio endémico, en el que frecuentemente la glándula está muy dilatada sin que aumente la producción de hormonas. Así, el ensayo de la captación de radioyodo por la tiroides es una de las aplicaciones médicas más extendidas de los radioisótopos y, debido a su valor práctico, es en general la primera técnica que se adopta al instalar un laboratorio de isótopos en un hospital.

Principios y métodos

El principio en que se basa la medida de la captación es relativamente sencillo. Cierta tiempo des-

pués de haber administrado al paciente una dosis de radioyodo, se compara la cantidad de radiación gamma emitida por el radioyodo acumulado en la tiroides con la cantidad de radiación gamma emitida por la dosis total contenida en un recipiente que se denomina "patrón". En el caso ideal ambas mediciones tendrían que efectuarse en las mismas condiciones es decir: las relaciones geométricas existentes entre el detector de radiaciones y la glándula tiroides, y el detector y el "patrón", deberían ser idénticas. No obstante, debido a la complejidad de las relaciones que existen entre la glándula y los tejidos del cuello que la rodean, y a las diferencias que existen en esta relación de un paciente a otro, es imposible reproducir exactamente las mismas condiciones. El problema principal estriba, por lo tanto, en llevar a cabo la medición de un modo que reduzca al mínimo los errores ocasionados por las diferencias que existen en las relaciones entre ambas fuentes y el detector, así como los efectos de las variaciones individuales de un paciente a otro.

Como las primeras mediciones de la captación de radioyodo por la tiroides se efectuaron hace casi veinte años, muchos laboratorios desarrollaron ideas propias sobre la manera de efectuarlas y han establecido métodos particulares. Las técnicas actualmente empleadas varían mucho de un país a otro y, al parecer, no existe ningún método aceptado por todos los que trabajan en este campo. A consecuencia de ello es difícil comparar los resultados obtenidos y, con frecuencia, su valor es dudoso. Muchos laboratorios han expresado dudas sobre la validez de los resultados obtenidos por ellos mismos porque carecían de equipo adecuado para calibrar el método utilizado.

Para ayudar a los Estados Miembros a calibrar y normalizar estas mediciones, el Organismo Internacional de Energía Atómica ha iniciado un proyecto en virtud del cual uno de sus funcionarios científicos, especializado en ese trabajo, va a comenzar una serie de visitas a diversos Estados Miembros a petición de éstos. El experto utilizará como equipo de calibración un maniquí con un contenido conocido de yodo radiactivo "simulado" (es decir, de una sustancia cuyas características de emisión radiactiva son casi idénticas a las del yodo-131, pero de período de semidesintegración mucho más largo) con el cual calibrará los aparatos de medición disponibles en los diversos centros, calculará los factores de corrección cuando sea oportuno y propondrá -si fuera necesario- un método normalizado de medición con objeto de asegurar que los resultados obtenidos sean comparables con los observados en instituciones médicas de otros países.