

ESTADO ACTUAL DE LAS INVESTIGACIONES SOBRE LA FUSION NUCLEAR CONTROLADA

En su disertación, pronunciada con ocasión de la undécima reunión ordinaria de la Conferencia General, sobre las investigaciones encaminadas a conseguir una fuente prácticamente inagotable de energía gracias al proceso de fusión nuclear, el Académico Sr. Lev A. Artsimovich recalcó la necesidad de proseguir desplegando esfuerzos con miras a alcanzar ese objetivo. Miembro del Presidium de la Academia de Ciencias de la Unión Soviética y Jefe de la División de Física General y Aplicada, así como del Departamento de Física del Plasma, el Sr. Artsimovich estimó que se ha progresado en los trabajos encaminados a obtener un nuevo combustible nuclear: el plasma de elevada temperatura.

A continuación se resume la conferencia del Académico Sr. Artsimovich.

El orador dijo que el problema estriba en hallar maneras de aprovechar el enorme potencial energético que encierran los isótopos del hidrógeno, es decir, el deuterio y el tritio (el núcleo del hidrógeno está formado por un protón, el del deuterio por un protón y un neutrón, y el del tritio por un protón y dos neutrones). La energía que podría liberarse por fusión de estos isótopos sería varias veces mayor, por unidad de peso de combustible nuclear, que la generada por las reacciones, ya más clásicas, de fisión del uranio y otros elementos pesados. Las reservas de deuterio son prácticamente inagotables, y por esta razón ejerce tan poderosa atracción la perspectiva de utilizar el potencial energético que este isótopo encierra. Ahora bien, las reacciones de fusión no se desarrollan sino a temperaturas de unos 100 millones de grados, como mínimo. Sólo a estas temperaturas pueden los núcleos adquirir velocidades que permitan vencer la repulsión electrostática mutua cuando se aproximan unos a otros, y entrar en reacción. Por tal razón, estas reacciones reciben el nombre de reacciones termonucleares controladas.

A esas temperaturas, las sustancias ya no se presentan como un medio neutro, sino que únicamente pueden existir en forma de plasma caliente totalmente ionizado, de una mezcla inseparable de iones positivos y de electrones animados de alta velocidad. Para utilizar este plasma como combustible de un futuro generador, la cantidad de energía liberada por la fusión ha de ser superior a las pérdidas térmicas y, en particular, a las pérdidas, al parecer, inevitables,

debidas a la emisión de rayos X causada por los choques de las partículas. Esto significa que, si se utiliza deuterio puro, puede obtenerse un excedente de energía a temperaturas superiores a 300 millones de grados o, si se emplea un plasma formado por partes iguales de deuterio y de tritio, a 200 millones de grados. Un reactor nuclear sólo puede funcionar con un saldo energético positivo si todos los núcleos tienen buenas probabilidades de fusionarse. Todo parece indicar que la mezcla basada en deuterio y tritio es la más favorable, pero por desgracia, el tritio es prácticamente inexistente en la naturaleza. Quizá sea posible producirlo durante el proceso de fusión pero, a la larga, el papel principal corresponderá al deuterio.

AISLAMIENTO DEL PLASMA EN EL VACIO

El calentamiento del plasma ha de tener lugar de modo que la energía térmica se conserve durante largos períodos; esa necesidad constituye uno de los principales escollos para la solución de este problema. El plasma a elevada temperatura es un conductor casi perfecto de calor, por lo que ha de aislarse completamente de las paredes del recipiente que lo contiene en un alto grado de vacío. La idea de conseguir este aislamiento por medio de un campo magnético constituye la base de todos los progresos realizados en esa esfera. Al principio parecía que esta idea sería algo así como una varita mágica a cuyo mandato la naturaleza entregaría todos sus secretos, pero después tropezó con graves dificultades. En consecuencia, pronto se advirtió que los aspectos tecnológicos solamente podían estudiarse con rigor si se creaba una nueva disciplina científica: la física del plasma a elevadas temperaturas.

El problema puede abordarse desde tres ángulos distintos. El primer enfoque preconiza el empleo de las llamadas trampas magnéticas de extremos abiertos, que contienen el plasma en una región delimitada por líneas de fuerza procedentes del exterior. La contención se basa en el hecho de que las partículas cargadas pierden velocidad al moverse a lo largo de las líneas de fuerza hacia la región de mayor intensidad de campo. Si el ángulo que forman la dirección de las partículas y las líneas de fuerza es suficientemente grande, las partículas que se aproximen a la región de mayor intensidad de campo son reflejadas como en un espejo. Por lo tanto, si la intensidad del campo magnético aumenta hacia ambos extremos de una región central, se podrá contener las partículas de plasma en el pequeño volumen comprendido entre esos espejos magnéticos.

El segundo enfoque principal consiste en el estudio del comportamiento de columnas de plasma formadas por anillos cerrados, producidas en dispositivos magnéticos toroidales (en forma de anillo). En un dispositivo de este tipo, el plasma puede fluir libremente a lo largo de las líneas de fuerza. Se han diseñado variados dispositivos de esa índole, a los que se suele dar el nombre de trampas magnéticas cerradas.

Tanto las trampas magnéticas abiertas como las cerradas pueden llamarse cuasiestacionarias, con lo que se quiere indicar que el período de una partícula rápida contenida en la trampa supera en muchos órdenes de magnitud al tiempo

El académico Sr. Lev A. Artsimovich durante su disertación.



que la partícula necesita para atravesar una vez el volumen de la trampa. En otras palabras, la partícula puede oscilar un gran número de veces entre los límites de la región ocupada por el plasma.

Además de los sistemas de contención cuasiestacionarios, hay dispositivos que calientan el plasma muy rápidamente durante su compresión por un campo magnético de intensidad creciente. Este sistema permite lograr una concentración máxima de energía en un volumen muy reducido durante intervalos de tiempo muy cortos. Los dispositivos de este tipo se llaman "de estricción rápida" y utilizan campos magnéticos cuya intensidad crece en intervalos del orden de unas millonésimas de segundo. El método más simple consiste en iniciar una descarga en un gas por medio de una potente fuente de alta tensión. La corriente que atraviesa el gas genera el plasma y el campo magnético lo comprime, convirtiéndolo en un fino filamento incandescente. La descarga calienta también el plasma. Este método resulta interesante por su simplicidad y en los primeros tiempos de las investigaciones se le prestó gran atención. Pero pronto se advirtió que, en este proceso, el tiempo durante el cual la energía se conserva es muy breve, y que sólo podría obtenerse un saldo energético positivo liberando en forma instantánea una cantidad de energía equivalente a la desprendida en una gran explosión (del orden de varias toneladas de trinitrotolueno). Fue precisamente al investigar este procedimiento cuando los físicos encontraron que en el camino hacia el objetivo final el principal obstáculo radica en que el plasma situado en un campo magnético suele ser muy inestable. Esta inestabilidad recibe el nombre de hidromagnética y se pone de manifiesto de diferentes maneras, según el método de obtención de plasmas de alta temperatura. Es la "enfermedad" más grave de un plasma caliente contenido en un campo magnético, ya que las deformaciones de la masa plasmática se propagan rápidamente y originan el colapso total del aislamiento magnético.

En resumen, cada uno de los principales conceptos ha atravesado una fase en que el problema más importante consistía en hallar la manera de estabilizar el plasma.

CONTENCION DEL PLASMA

Tan pronto como se advirtió que con los dispositivos simples del tipo "estricción rápida" no se progresaría satisfactoriamente, la atención se concentró en los procesos cuasiestacionarios, dándose cierta preferencia a los dispositivos abiertos. Estos tienen la ventaja de que pueden utilizarse para estudiar varios métodos de obtención de plasmas a elevadas temperaturas. La teoría y los experimentos han demostrado que modificando la configuración del campo magnético era posible evitar las grandes inestabilidades del plasma en las trampas de tipo abierto. Los experimentos realizados en la Unión Soviética entre los años 1961 y 1963 muestran que la inestabilidad hidromagnética se puede suprimir por completo, habiéndose logrado confinar un plasma estable de cierta densidad, a una temperatura del orden de varios millones de grados.

"Así pues", dijo el Académico Sr. Artsimovich, "se ha hallado un método eficaz para suprimir la inestabilidad más peligrosa del plasma".

Se ha llegado a la conclusión general de que las trampas de tipo abierto satisfacen los requisitos de contención, y recientemente se han construido en la Unión Soviética, el Reino Unido, y los Estados Unidos de América buen número de nuevas y grandes instalaciones. Pero este éxito no significa que se haya encontrado un camino expedito hacia la meta apetecida. El aumento de la densidad del plasma se traduce en la aparición de nuevos tipos de inestabilidad. La teoría señala el camino a seguir para eliminar los efectos de una serie de mecanismos de inestabilidad de alta frecuencia, y los resultados experimentales concuerdan en general con esas predicciones.

Se opera con valores que son inferiores en cinco órdenes de magnitud a los necesarios para un reactor termonuclear alimentado con una mezcla de deuterio y tritio, pero hace sólo unos cuantos años los períodos de los neutrones y partículas rápidos eran varias decenas de millares de veces menores. El orador, fundándose en los cálculos realizados, llegó a la conclusión de que "hemos recorrido ya la primera mitad, aproximadamente, del camino que, gracias a las trampas magnéticas abiertas, nos llevará a la meta final. Ciertamente que aún no sabemos qué dificultades nos aguardan en la segunda mitad, pero de todas formas no debemos subestimar lo que ya hemos conseguido". Un inconveniente es la pérdida de partículas a lo largo de las líneas de fuerza.

En cuanto a los dispositivos magnéticos cerrados, que en la actualidad parecen más ventajosos desde el punto de vista de la aplicación técnica en el futuro, hay tres tipos principales. Uno es el sistema toroidal, en el cual el plasma anular se mantiene en equilibrio con ayuda de un campo magnético producido por una corriente que circula por esos anillos; las instalaciones Tokamak de la Unión Soviética constituyen un ejemplo de este tipo; en otro, como el dispositivo inglés ZETA, la corriente también circula por los anillos de plasma, pero los experimentos han mostrado que, con un campo magnético longitudinal débil, no es posible estabilizar adecuadamente la columna de plasmas recorrida por la corriente. El tercer tipo es el Estelerator, en el que se puede confinar una columna cerrada de plasma con la sola ayuda de un campo externo, de configuración compleja. La investigación de las propiedades del plasma en los esteleradores es uno de los elementos más importantes del programa de los Estados Unidos. Las esperanzas de construir en el futuro un reactor, basado en los principios del sistema Tokamak o en los del Estelerator no parecen carentes de fundamento.

TAREA PARA EL FUTURO INMEDIATO

Los cálculos dan la impresión de que, si bien las exigencias de los reactores termonucleares del futuro rebasan los límites de la tecnología moderna, quizá sea posible, gracias al progreso técnico, construir un reactor alimentado con una mezcla de deuterio y tritio. En lo que atañe al sistema Tokamak, han de resolverse importantes problemas de calentamiento del plasma. Los métodos que mejores perspectivas ofrecen parecen ser: a) el calentamiento por medio de campos electromagnéticos de alta frecuencia; b) la inyección de partículas rápidas neutras; c) la aplicación de la técnica del laser en el infrarrojo lejano. La elaboración y ensayo de nuevos métodos de calentamiento del plasma en

sistemas cerrados debería ser uno de los aspectos más importantes de las investigaciones sobre esta materia en el futuro inmediato.

Los dispositivos tipo Estelerator podrán convertirse en un temible rival para las instalaciones tipo Tokamak, si se consideran como prototipo de un reactor termonuclear futuro, pero por otro lado presentan muchas dificultades intrínsecas y su compleja estructura es aún susceptible de grandes perfeccionamientos.

En la Unión Soviética y en los Estados Unidos se está ensayando un dispositivo que comprime el plasma en un foco de muy reducido volumen; los principales resultados son muy parecidos e indican una proporción alentadora de reacciones de fusión. Es posible que con el tiempo se superen las enormes dificultades técnicas, pero ello exigirá muchos años de ardua labor. Se están realizando otras investigaciones sobre la manera de obtener plasma a alta temperatura. Las que tienen la constricción de un plasma por medio de un campo magnético externo cuya intensidad crece rápidamente pueden también ser un punto de partida para la solución práctica del problema principal.

Al cabo de más de quince años de trabajo, no se ha conseguido aún descosir el velo que esconde el secreto de la central termonuclear del futuro, pero se han logrado considerables progresos en la tarea de obtener un nuevo combustible nuclear: el plasma de elevada temperatura. Para llegar pronto a la meta han de proseguir los esfuerzos que hasta ahora vienen desplegándose. La física del plasma constituye una disciplina de gran importancia propia y una de las piedras de toque de las ciencias exactas modernas. Señala el camino para la solución de los más importantes problemas tecnológicos del futuro próximo y lejano, y merece que los dirigentes de la industria atómica le presten especial atención.