



Investigaciones en materia de física del plasma y fusión nuclear controlada

Durante el último decenio se han dedicado crecientes esfuerzos a estudiar las posibles formas de un reactor termonuclear productor de electricidad, así como los distintos problemas técnicos que habrá que superar.

Las anteriores conferencias del OIEA sobre este tema se celebraron en Salzburgo (1961), Culham (1965), Novosibirsk (1968), Madison (1971), Tokio (1974), Berchtesgaden (1976) e Innsbruck (1978). El intercambio de información que ha caracterizado esta serie de reuniones constituye un importante ejemplo de colaboración internacional y ha contribuido en gran medida al progreso de las investigaciones sobre fusión controlada. Los resultados de los experimentos llevados a cabo en importantes centros de investigación, así como los crecientes conocimientos científicos en materia de física del plasma, hacen concebir la esperanza de que será posible realizar la fusión nuclear en gran escala, fuera ya de la etapa de laboratorio, a finales del presente siglo.

Para aumentar la duración de las descargas que actualmente se consiguen en las máquinas tokamak hay que solucionar el problema del control de las impurezas. Recientemente han entrado en funcionamiento nuevas máquinas grandes — PDX (Estados Unidos de América) y ASDEX (República Federal de Alemania) — equipadas con el divisor poloidal, y sus primeros resultados muestran que se pueden establecer y mantener varias configuraciones de divisores y que éstos funcionan en la forma prevista. En estas máquinas se logró reducir a la décima parte las impurezas de Z alto.

Como resultado de extensas investigaciones sobre el calentamiento del plasma por radiofrecuencia (RF) en los tokamaks PLT (Estados Unidos de América), TFR (Francia) y JFT-2 (Japón), se demostró la eficacia de este interesante método de calentamiento, comparable al calentamiento por haces de partículas neutras. Se mostró que se puede lograr una densidad de la potencia de entrada de alrededor de $5-10 \text{ kW/cm}^2$, y que este límite es lo suficientemente alto para aplicarlo a máquinas del tamaño de los reactores.

Uno de los resultados prometedores comunicados en la conferencia fue que se había logrado un valor $\langle \beta \rangle$ (razón de la presión del plasma a la presión del campo magnético) de $\sim 3\%$ en los tokamaks T-11 (Unión Soviética) e ISX-B (Estados Unidos de América). Es importante observar que este valor sobrepasa el límite teórico de inestabilidad para plasma de sección eficaz circular, sin haberse observado deterioración alguna del confinamiento.

Los resultados obtenidos con las máquinas tipo tokamak indican que actualmente se ha establecido una base científica sólida para el diseño de un reactor de este tipo.

También se ha logrado un gran éxito en el programa de máquinas tipo estelerator. Por primera vez se ha obtenido un plasma denso, limpio y de alta temperatura, en régimen libre de corriente, en el estelerator Wendelstein VII-A, en Garching (República Federal de Alemania). Para ello se ha elaborado un procedimiento especial de transición de régimen de corriente a régimen libre de corriente. En este régimen, el confinamiento del plasma parece ser mejor. Ha entrado en funcionamiento una nueva máquina, el Helioetrón-E (Japón), que promete dar resultados impresionantes en un futuro próximo.

En lo que concierne a los sistemas de confinamiento abiertos, la clave continúa siendo la supresión de las pérdidas por los extremos. En las máquinas GAMMA-6 (Japón) y TMX (Estados Unidos de América) se ha comprobado el efecto de un potencial ambipolar sobre las pérdidas longitudinales de plasma. Se considera posible aumentar nueve veces el tiempo de confinamiento del plasma, en comparación con el caso de "extremos abiertos". En la máquina TMX se ha logrado el valor máximo de la temperatura electrónica, de $\sim 3 \cdot 10^5$ grados, si bien en presencia de fuertes fluctuaciones que disminuyen el confinamiento iónico.

En las memorias teóricas se hizo, en general, hincapié en la interpretación de las leyes de escala. Actualmente, parece que las teorías del calentamiento del plasma por inyección de partículas neutras y por resonancia ciclotrónica de los iones minoritarios se conocen bien y concuerdan con los datos experimentales. Resultados muy alentadores obtenidos recientemente son que, optimizando la forma del plasma y el perfil de corriente, se han logrado valores β estables del orden del 10% en máquinas tokamak. En el caso de los reactores, las incógnitas en cuanto a las leyes de escala del confinamiento y a la teoría del calentamiento dan lugar a grandes fluctuaciones en las estimaciones de la potencia necesaria para el calentamiento. Las memorias presentadas sobre este particular muestran que son necesarios más trabajos.

Numerosas memorias sobre los sistemas de confinamiento inercial en los grandes dispositivos experimentales con láser parecen indicar la dirección de los próximos experimentos en gran escala. Se presentaron algunos resultados sobre interacciones de un láser de corta longitud de onda con pastillas, que indican un mejor rendimiento, de acuerdo con la teoría. Se presentaron resultados impresionantes referentes a la conversión de un láser de neodimio a la tercera armónica, con una eficacia del 80%.

La tecnología de generación de haces de iones para los sistemas de confinamiento inercial ha registrado grandes progresos, razón de la atención que ahora se presta a estos sistemas.

Tal vez el aspecto más destacado de las memorias dedicadas a cuestiones tecnológicas fue el interés de los autores por examinar los problemas que fueron tema del Cursillo práctico internacional sobre el reactor tokamak (INTOR) o de la Instalación de Pruebas de Ingeniería (ETF). Se trata del análisis de divisores, de los sistemas de tritio y de las capas reproductoras de tritio.

Los progresos registrados en la tecnología de los sistemas de haces de partículas neutras son impresionantes, pero ponen claramente de manifiesto los problemas con que habrá que enfrentarse para poder emplear dichos haces en los reactores.

En la ceremonia de apertura, el Profesor Palumbo, Director del Programa de Fusión de la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), pronunció la Conferencia en memoria de Artsimovich, cuyo tema fue el origen y el papel de la colaboración internacional en las investigaciones relativas a la fusión. Los participantes escucharon con agrado la conferencia, en especial debido al éxito que han tenido las actividades del cursillo INTOR celebrado en el OIEA. Se organizó una reunión especial sobre el INTOR el 30 de junio de 1980, con el fin de informar sobre los resultados de la Fase Cero de este proyecto.