

Física de los plasmas espaciales: Desde el entorno terrestre a la propulsión por plasma de vehículos espaciales.

Luis Conde

Departamento de Física Aplicada. E.T.S. Ingeniería Aeronáutica y del Espacio. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid.

La *Física de Plasmas* estudia sistemas compuestos por una gran cantidad de partículas, un número importante de las cuales tienen carga eléctrica e interactúan mediante fuerzas electromagnéticas. Los *plasmas* convencionales están constituidos por electrones, átomos y/o moléculas con carga positiva o negativa, así como partículas de gas eléctricamente neutras. En determinadas situaciones, los pequeños granos sólidos, inevitablemente presentes en todas partes, también pueden adquirir carga eléctrica mediante diferentes mecanismos físicos e interactuar con las demás partículas de plasma. Esta mezcla de iones, electrones y partículas sólidas cargadas se llama *plasma granular*.

Los gases ionizados y los plasmas granulares están presentes en todas partes de nuestra vida diaria, así como en numerosas aplicaciones tecnológicas. En concreto, los plasmas originados por las enormes emisiones de partículas cargadas provocadas por la actividad solar son el entorno natural interplanetario y vecino a la Tierra.

El flujo de partículas cargadas de origen solar, llamado *viento del sol* interactúa con el campo geomagnético cercano a la órbita de la Tierra. La deflexión de las cargas eléctricas alrededor de nuestro planeta crea una enorme y compleja estructura de corrientes llamada *magnetosfera*, que se extiende entre 382.000 y 250.000 km ($40-60 R_{\oplus}$) en el lado diurno y más de $900 R_{\oplus}$ en la dirección opuesta. Dentro de la magnetosfera se encuentran los dos *cinturones de radiación de Van Allen* (58.100-13.400 km y 9.700-640 km) y, en altitudes más bajas donde domina el campo geomagnético, está la *ionosfera* (1.000-85 km), capas de plasma que giran con la Tierra.

Por lo tanto, la física del plasma y sus tecnologías han estado estrechamente entrelazadas con la exploración espacial desde sus inicios. Las superficies de los satélites están expuestas a los efectos combinados de partículas de alta energía, radiación electromagnética solar, interacción con el entorno de plasma local y micrometeoritos sólidos. El flujo de gases emitidos por el propio vehículo y/o la naturaleza química y densidad de los existentes en órbitas terrestres bajas también pueden ser relevantes para las condiciones del satélite. Presentaremos los fundamentos del complejo entorno en el que se mueven las naves espaciales, que depende de la actividad solar y de las particularidades de su órbita.

La tecnología de propulsión espacial convencional está siendo transformada rápidamente por los *propulsores por plasma* y otros sistemas que utilizan electricidad para producir haces de partículas de alta velocidad para impulsar naves espaciales. Introduciremos los conceptos básicos de los sistemas de propulsión por plasma y veremos cómo la viabilidad económica y la competitividad comercial de los satélites dependen hoy de manera crítica de estos sistemas. Actualmente los propulsores de plasma se encuentran en los pequeños satélites de las constelaciones en órbita terrestre baja que brindan acceso planetario a Internet. Los satélites de telecomunicaciones en órbitas geoestacionarias utilizan propulsión eléctrica para maniobras de ascenso en órbita y mantenimiento de posición. Por último, la tecnología de propulsión por plasma ha hecho posible ambiciosas misiones de exploración en el espacio profundo.