

Plasma, el Cuarto Estado de la Materia

Norma Yadira Mendoza González

Plasma, the fourth state of matter

Recibido: abril 05, 2007

Aceptado: junio 27, 2007

Palabras clave: plasma, materia, física del plasma

Abstract:

This paper presents an introduction to the physics of plasmas. We present some fundamental concepts and some basic parameters that describe this state of matter.

Keywords: plasma, matter, physics of plasma

CUANDO hablamos de los estados de la materia, pensamos inmediatamente en sólido, líquido y gas, pero no estamos muy familiarizados con el cuarto estado de la materia: el PLASMA. Los rayos y las auroras son algunos de los ejemplos naturales más comunes de plasmas. Así mismo, este estado de la materia ha sido reproducido artificialmente por el hombre desde hace algunas décadas. El interior de los bulbos fluorescentes es uno de los ejemplos más conocidos de plasma artificial. Actualmente, diversas universidades y centros de investigación de todo el mundo estudian y desarrollan la Tecnología de Plasmas. Este espacio presenta algunos de los conceptos más fundamentales de la ciencia del plasma, el vasto rango de aplicaciones y su profunda implicación en la ciencia y tecnología del siglo 21 así como en nuestra vida diaria.

El interior de los bulbos fluorescentes es uno de los ejemplos más conocidos de plasma artificial.

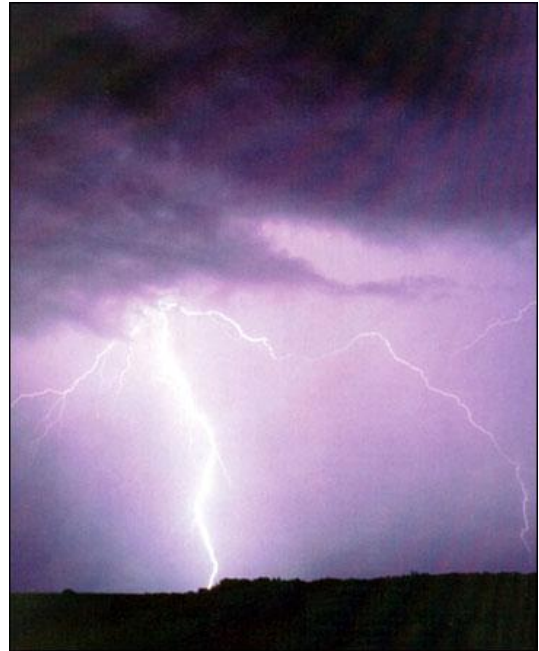


Figura 1. El rayo es uno de los ejemplos más comunes de Plasma.

QUÉ ES EL PLASMA?

El plasma se presenta a altas densidades de energía y se puede definir como un gas ionizado que contiene moléculas, átomos, iones, electrones y fotones. El plasma es eléctricamente conductor debido a la existencia de iones y electrones libres, de igual manera, tiene una neutralidad eléctrica local, debido a que hay igual número de iones y electrones libres. El plasma se forma mediante la ionización de los átomos, que al romperse pierden su cubierta de electrones, los cuales se desplazan libremente. Esta materia, aparentemente artificial, existe de manera natural en la magnetosfera terrestre y en el sol, que incluso la lanza en violentas explosiones conocidas como viento solar.

El plasma se puede definir como un gas ionizado que contiene moléculas, átomos, iones, electrones y fotones.

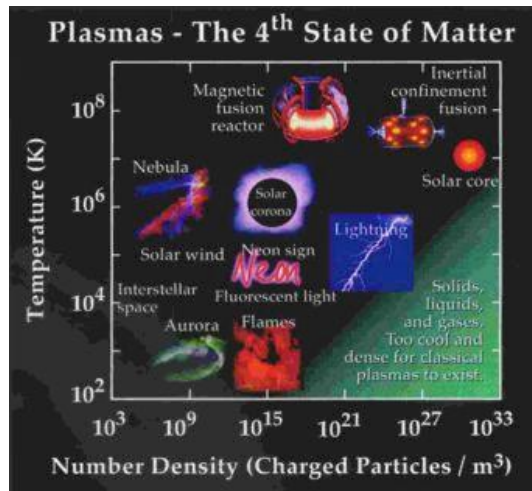


Figura 2. Esquema ilustrativo de la Física del Plasma.

La física del plasma es la base de nuestro conocimiento del Sol y las estrellas, de los espacios interestelares, las galaxias, los anuncios publicitarios de neón, los relámpagos y las auroras boreales, así como de las reacciones de fusión termonuclear controlada. Las interacciones eléctricas de largo alcance entre iones y electrones y los campos magnéticos externos o creados por corrientes eléctricas internas son los que dominan el plasma. La dinámica de estos sistemas es compleja ya que todo elemento en estado plasma presenta características concretas y definidas.

El concepto de plasma fue usado por primera vez por Irwing Langmuir (1881-1957), quien observó que los gases ionizados presentes en una descarga respondían colectivamente a las perturbaciones externas. Esta cualidad, análoga a la de los plasmas sanguíneos, le llevó a adoptar el término plasma para referirse a estos sistemas.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Puesto que existen plasmas en contextos muy diferentes y con características muy diversas, la física del plasma de-

fine apropiadamente los parámetros que deciden el comportamiento de un plasma. El conocimiento de estos parámetros permite al investigador escoger la descripción más apropiada para su sistema. Los principales parámetros son los siguientes:

Neutralidad y especies presentes

Generalmente, un plasma está formado por igual número de cargas positivas y negativas, lo que anula la carga total del sistema. En tal caso se habla de un plasma neutro o casi-neutro. También existen plasmas no neutros, como el flujo de electrones dentro de un acelerador de partículas, pero requieren algún tipo de confinamiento externo para vencer las fuerzas de repulsión electrostática.

Los plasmas más comunes son los formados por electrones e iones. En general pueden haber varias especies de iones dentro del plasma, como moléculas ionizadas (cationes) y otras que han capturado un electrón y portan una carga negativa (aniones).

Longitudes

La longitud de Debye o de apantallamiento electromagnético (λ_D) determina el rango típico de las interacciones electrostáticas de una determinada especie. Supongamos una cierta carga positiva presente en un plasma de electrones e iones. Los electrones serán atraídos y formarán una capa de carga negativa alrededor de ella. A partir de cierta distancia la carga habrá quedado neutralizada y no tendrá efectos apreciables. La longitud de Debye es una estimación de esta distancia. En un gas de electrones de densidad n_e y temperatura T tenemos

$$\lambda_D = \left(\frac{kT}{4\pi n_e^2} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

donde k simboliza la constante de Boltzmann.

Otra longitud importante en un plasma es el camino libre medio o la distancia media entre colisiones. Este parámetro y su comparación con la longitud de Debye determinan la importancia que hemos de dar a las colisiones en el modelo de nuestro sistema.

La frecuencia de plasma

Así como la longitud de Debye proporciona una medida de las longitudes típicas en un plasma, la frecuencia de plasma

(ω_p) describe sus tiempos característicos. Supóngase que en un plasma en equilibrio y sin densidades de carga se introduce un pequeño desplazamiento de todos los electrones en una dirección. Éstos sentirán la atracción de los iones en la dirección opuesta, se moverán hacia ella y comenzarán a oscilar en torno a la posición original de equilibrio. La frecuencia de tal oscilación es lo que se denomina frecuencia de plasma. La frecuencia de plasma de los electrones es:

$$\omega_{pe} = \left(\frac{4\pi n_e e^2}{m_e} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

donde m_e es la masa del electrón y e su carga.

Temperatura: velocidad térmica

Por lo general las partículas de una determinada especie localizadas en un punto dado no tienen igual velocidad: presentan por el contrario una distribución que en el equilibrio térmico es descrita por la distribución de Maxwell-Boltzmann. A mayor temperatura, mayor será la dispersión de velocidades (más ancha será la curva que la representa). Una medida de tal dispersión es la velocidad cuadrática media que, en el equilibrio, se denomina también velocidad térmica. Es frecuente, aunque formalmente incorrecto, hablar también de velocidad térmica y de temperatura en plasmas lejos del equilibrio termodinámico. En tal caso, se menciona la temperatura que correspondería a una velocidad cuadrática media determinada. La velocidad térmica de los electrones es:

$$v_{T_e} = (kT_e/m_e)^{1/2}. \quad (3)$$

El parámetro de plasma

El parámetro de plasma (Σ) indica el número medio de partículas contenidas en una esfera cuyo radio es la longitud de Debye (esfera de Debye). La definición de plasma, según la cual la interacción electromagnética de una partícula con la multitud de partículas distantes domina sobre la interacción con los pocos vecinos próximos, puede escribirse en términos del parámetro de plasma como $\Sigma \gg 1$. Esto es: hay un gran número de partículas contenidas en una esfera de Debye. Es común referirse a esta desigualdad como “condición de plasma”. Algunos autores adoptan una definición inversa del parámetro de plasma ($g = 1/\Sigma$), con lo que la condición de plasma resulta ser $g \ll 1$. El parámetro

de plasma de los electrones es:

$$\Sigma = \frac{4\pi}{3} n_e \lambda_D^3. \quad (4)$$

EJEMPLOS Y APLICACIONES DEL PLASMA

Con frecuencia se habla del plasma como un estado de agregación de la materia con características propias. Por plasma, sin embargo, algunos autores también entienden algunas partes de la ionosfera, especialmente la capa F, la cual refleja las ondas de radio y permite la comunicación por radio a través de la reflexión en la ionosfera. El plasma se encuentra en los cinturones radiantes de van Allen. El viento solar, una corriente ininterrumpida de partículas desde nuestro Sol, dentro de la cual también se encuentra nuestra Tierra, es también un plasma. En estado plasmático se encuentran los núcleos y atmósferas de las estrellas, el núcleo de nuestra galaxia, las nebulosas y la mayoría de los objetos en el Universo. En la Tierra nos encontramos con el plasma en los canales de los rayos, en diferentes descargas eléctricas y el plasma es también creado artificialmente e investigado en los laboratorios.

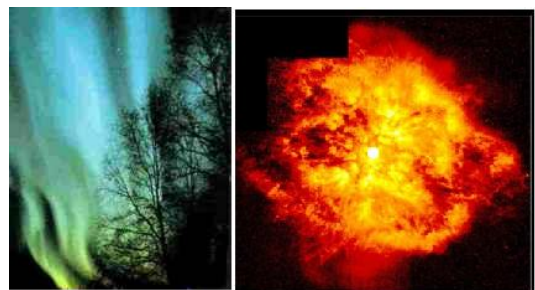


Figura 3. Ejemplos de plasma espacial. Izquierda: Aurora Boreal Universidad de Alaska. Derecha: Nebular M1-67, viento de masa estelar - NASA.

Ejemplos de plasmas

- Plasmas producidos artificialmente
 - En el interior de los tubos fluorescentes
 - La región que rodea al escudo térmico de una nave espacial durante su entrada en la atmósfera
 - Reactores de confinamiento de plasma (fusión, RF, DC)
- Plasmas terrestres
 - Los rayos durante una tormenta
 - La ionosfera
 - La aurora boreal
- Plasmas espaciales y astrofísicos
 - Las estrellas (por ejemplo, el Sol)
 - Los vientos solares
 - El medio interplanetario
 - Las nebulosas intergalácticas

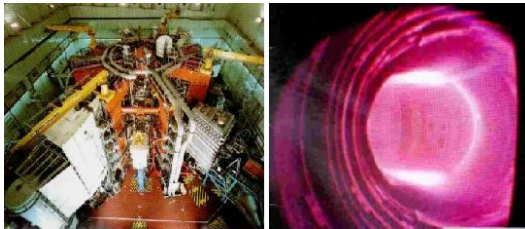


Figura 4. Ejemplos de plasmas de fusión. Instalación del equipo de un reactor de fusión Tokamak. B. Interior de un reactor Tokamak en actividad.

El alto contenido de energía en los plasmas comparado al de otros gases ordinarios (aun a las flamas de combustión de la más alta temperatura) ofrece un potencial ilimitado para su uso en un extenso número de aplicaciones industriales. Tras la Segunda Guerra Mundial el creciente interés en desarrollar reactores de fusión que proporcionaran una energía limpia, segura y barata alimentó un rápido avance de la física del plasma, esencial para entender el comportamiento de un gas a las altas temperaturas necesarias en el interior de tales dispositivos.

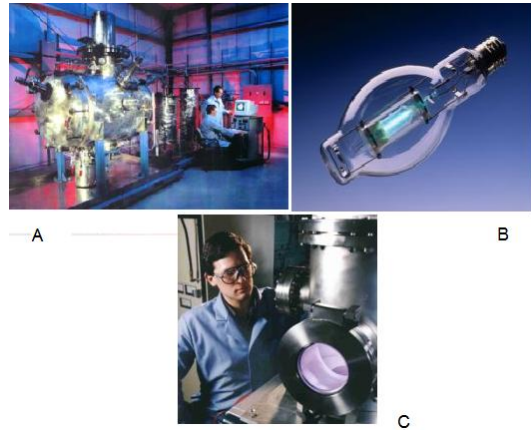


Figura 5. Ejemplos de Tecnología Plasma. A. Equipo de reactor plasma para la destrucción de residuos peligrosos. B. Lámpara plasma de arco C. Procesamiento de materiales por plasma térmico.

Actualmente la física del plasma es una disciplina madura y extensa. Sus herramientas son imprescindibles en la investigación astrofísica y geofísica; sus aplicaciones tienen una gran importancia económica y van desde la mencionada fusión nuclear hasta el tratamiento de materiales mediante descargas eléctricas, como es el caso de los Reactores de Radio Frecuencia (RF) y Corriente Directa (DC), estos dos últimos empleados también para la síntesis de nanopartículas. Otros usos industriales son el grabado de circuitos electrónicos y la purificación de emisiones contaminantes.

Bibliografía

- [1] Maher I. Boulos, Pierre Fauchais, and Emil Pfender. Thermal plasmas: fundamentals and applications. Vol. I. New York Plenum Press, 1994.
- [2] Solonenko and M.F. Zhukov. Thermal plasma and new materials technology. Vol II. Cambridge Interscience Pub. 1995: fundamentals and applications. Vol. I. New York Plenum Press, 1994.
- [3] <http://www.plasmas.org/basics.htm>
- [4] <http://www.tekna.com/index.htm>
- [5] <http://www.plasmaquebec.ca>

Acerca del autor o autores

Norma Yadira Mendoza González: Estudiante de Doctorado en el Centro de Investigación en Tecnologías de Plasma (CREPE) de la Universidad de Sherbrooke. Département de Génie Chimique Université de Sherbrooke, 2500 Boulevard Université Sherbrooke J1K 2R1, Québec- Canada.

