

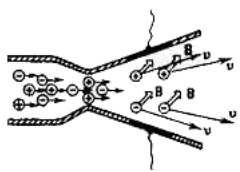
3°. La interacción coulombiana de largo alcance de las partículas cargadas en el plasma acarrea una peculiaridad cualitativa de este, que permite considerarlo como *cuarto estado de agregación de la substancia*.

Propiedades principales del plasma:

- una fuerte interacción con los campos magnéticos y eléctricos externos, debida a su gran conductibilidad eléctrica;
- una interacción colectiva específica de sus partículas, que se efectúa por medio de un campo especial cuya naturaleza no puede estudiarse dentro de los límites de este manual;
- en virtud de las interacciones remotas, el plasma es un medio elástico peculiar en el cual se excitan y propagan fácilmente oscilaciones y ondas de distinto tipo.

4°. El movimiento del plasma en el campo magnético se utiliza en el método de transformación directa de la energía interna del gas ionizado en electricidad. Este método su ha realizado en los *generadores magnetohidrodinámicas (generadores MHD)*. El principio en que su basa el funcionamiento del generador MHD consiste en lo siguiente: el gas que se produce al quemarse el combustible, que es un plasma, se mueve en un fuerte campo magnético transversal. En el plasma electro conductor, lo mismo que en cualquier conductor que se moviera en dicho campo, se produce el fenómeno de inducción electromagnética (III.12.1.1°). La Fem. de inducción se recoge por medio de electrodos y pasa al circuito exterior. La fig. III.9.4 ilustra el esquema de un generador MHD. El gas ionizado que se produce al quemarse el combustible, pasa por una tobera y su energía interna se convierte en cinética. Al moverse este gas en el

Fig.III.9.4



campo magnético transversal \mathbf{B} , bajo la acción del campo eléctrico inducido (III.12.1.1°) los iones positivos se desplazan hacia el electrodo superior, y los electrones libres, hacia el inferior. Cuando los electrodos se cierran sobre una carga externa formando un circuito, se genera corriente eléctrica.

5°. En el plasma es posible el estado de equilibrio termodinámico a una temperatura determinada, cuando la disminución del número de partículas cargadas, a causa de la recombinación

(III.9.4.1°), es compensada por nuevos actos de ionización. En este plasma existe igualdad entre las energías cinéticas de las distintas partículas que lo componen. Los procesos de intercambio de energía entre sus partículas, así como el intercambio de energía entre el y la radiación negra (V. 5.1.8°), son procesos en equilibrio (II.1.3.7°). El plasma que tiene tales propiedades se denomina *plasma isotérmico*. Esta clase de plasma existe en la atmósfera de las estrellas de elevada temperatura.

Para conseguir un alto grado de ionización del plasma que permanece en equilibrio termodinámico, con cargas iguales según su magnitud, pero de signos contrarios, es necesario reducir al máximo la recombinación de las partículas (III.9.4.1°). La ionización total del plasma se puede obtener cuando $kT \gg e\phi_i$ donde ϕ_i es el potencial de ionización de los átomos del gas (III.9.4.3°), y kT la energía media del movimiento térmico de las partículas del plasma. Para el hidrógeno y el deuterio esto corresponde a $T \approx 160\,000$ K. En tales condiciones desempeña un papel importante la radiación del plasma y es difícil aislar este de las paredes (p. 7°).

6°. En el plasma de descarga en un gas (III.9.5.1°) (*plasma de descarga gaseosa*) no existe equilibrio termodinámico (p. 5°). Las partículas cargadas se hallan en este plasma en un campo eléctrico acelerador.

Esta energía se aproxima tanto más a A_i cuanto menor es la relación $\frac{m}{M}$. Un electrón y un ion de carga única, al pasar por una misma diferencia de potencial $\Delta\phi$, acumulan la misma energía $W = e\Delta\phi$.

De la fórmula anterior se deduce que para la ionización por choque con electrones o iones, cuya masa supera el 10^4 veces la masa del electrón, los iones deben recorrer en el campo acelerador una diferencia de potencial mayor que los electrones.

§ III.9.5 Nociones sobre los distintos tipos de descarga a través de un gas

1°. Se llama *descarga en un gas* el proceso de paso de la corriente eléctrica a través de dicho gas.

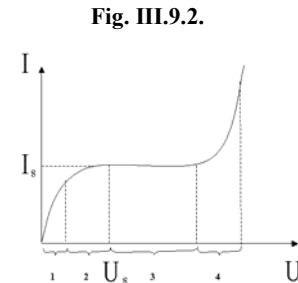
Si la descarga en el gas se debe a agentes ionizadores (III.9.4.4°) externos y cesa cuando éstos dejan de actuar, tendremos una *descarga en gas no automantenida*. En la fig. III.9.2 se representa la curva de dependencia de la intensidad de la corriente I respecto de la tensión U entre los electrodos para una descarga no automantenida. En la primera parte de la curva, donde las tensiones no son grandes, se cumple una ley de Ohm semejante a la ley para los electrolitos (III.9.3.2°). Si en el gas surgen electrones o iones de carga única,

$$\mathbf{j} = en_0(u_+ + u_-)\mathbf{E},$$

donde n_0 es el número de pares de partículas cargadas (de signos contrarios) que hay en una unidad de volumen, u_+ y u_- son las movilidades de los iones positivos y negativos; y e , el valor absoluto de la carga del electrón. En un amplio intervalo de presiones, comprendido entre 10 y 10^7 Pa, la movilidad iónica del gas es inversamente proporcional a la presión.

2°. En la segunda parte de la curva de la fig. III.9.2, la dependencia lineal entre la intensidad de la corriente I y la tensión U se infringe a causa de que la concentración de iones en el gas disminuye. En esta región, al aumentar U , la intensidad de la corriente crece cada vez más lentamente.

En la tercera parte de la curva de la fig. III.9.2, a partir de cierta tensión U_s , la intensidad de la corriente permanece constante cuando aumenta la tensión. Esto se debe a que



siendo invariable la intensidad de ionización (III.9.4.1°), en los campos eléctricos fuertes todos los iones que se forman en el gas en la unidad de tiempo, llegan a los electrodos. La intensidad de la corriente no aumenta más mientras permanezca invariable la intensidad de la ionización. La saturación comienza a consecuencia de que todas las partículas cargadas que se forman, moviéndose en el campo eléctrico intenso, alcanza los electrodos antes de que una parte apreciable de ellos tenga tiempo para recombinarse con las partículas de signo contrario.

Se llama *corriente de saturación* la máxima intensidad de corriente I_s posible para una intensidad de ionización dada:

$$I_s = eN_0,$$

§ III.9.3. Condición electrolítica de los líquidos

1°. La densidad de la corriente \mathbf{j} (III.7.2.3°) en una sección arbitraria SS perpendicular a la dirección del movimiento de los iones (fig. III.9.1), es igual a la suma de las densidades de las corrientes de iones positivos y negativos:

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_+ + \mathbf{j}_-$$

siendo $\mathbf{j}_+ = q_+ n_+ \langle \mathbf{v}_+ \rangle$ y $\mathbf{j}_- = q_- n_- \langle \mathbf{v}_- \rangle$, donde q_+ y q_- , n_+ y n_- , $\langle \mathbf{v}_+ \rangle$ y $\langle \mathbf{v}_- \rangle$ son, respectivamente, las cargas, las concentraciones y las velocidades medias del movimiento ordenado (es decir, de la *deriva* bajo la acción del campo magnético) de los iones positivos y negativos.

2°. Las velocidades medias de deriva de los iones son proporcionales a la intensidad \mathbf{E} del campo eléctrico:

$$\langle \mathbf{v}_+ \rangle = u_+ \mathbf{E}, \quad \langle \mathbf{v}_- \rangle = -u_- \mathbf{E},$$

donde las magnitudes positivas u_+ y u_- se llaman movilidades de los iones. La movilidad iónica es igual a la relación entre los módulos de los vectores velocidad media de deriva e intensidad del campo, y no depende de la intensidad \mathbf{E} del campo eléctrico. Como en los electrolitos no hay cargas espaciales,

$$q_+ n_+ + q_- n_- = 0.$$

Además,

$$q_+ = e z_+ = \frac{F}{N_A} z_+ \quad (\text{III.9.2.2}^\circ).$$

3°. *Ley de Ohm para la densidad de la corriente en los electrolitos* (compárese con III.7.3.4°):

$$\mathbf{j} = \frac{F}{N_A} z_+ n_+ (u_+ + u_-) \mathbf{E}$$

La resistividad ρ del electrolito (III.7.3.4°) constituye

$$\rho = \frac{N_A}{F z_+ n_+ (u_+ + u_-)}.$$

Si al disociarse las moléculas del soluto, se forman k_+ iones positivos y k_- iones negativos, entonces

$$k_+ z_+ = k_- z_-; n_{0+} = k_+ c n_0 \text{ y } n_{0-} = k_- c n_0,$$

donde α es el grado de disociación, n_0 la concentración de sustancia disuelta (III.9.1.5°), y

$$\rho = \frac{N_A}{F z_+ k_+ c n_0 (u_+ + u_-)}.$$

La relación N_A / z_+ es el número de iones positivos que hay en un equivalente gramo (III.9.1.4°). Si se introduce la magnitud

Capítulo III.9. Corriente eléctrica en los líquidos y en los gases

§ III.9.1. Leyes de la electrólisis de Faraday. Disociación electrolítica.

1º. Los líquidos son conductores de la corriente eléctrica (*electrólitos, conductores de segunda clase*) si bajo la acción de un campo eléctrico externo puede efectuarse en ellos el movimiento ordenado de los iones.

El movimiento ordenado de los iones en los líquidos conductores se produce en el campo eléctrico engendrado por los *electrodos*, o sea, por los conductores unidos a los polos de una fuente de energía eléctrica. El electrodo positivo se denomina *ánodo*, y *cátodo* el negativo. Los iones positivos *-cationes-* (iones de los metales y del hidrógeno) se mueven hacia el cátodo, y los iones negativos *-aniones-* (iones de los radicales ácidos y del hidroxilo) se mueven hacia el ánodo. La corriente eléctrica en los electrólitos va acompañada del fenómeno de *electrólisis*, es decir, del desprendimiento (en los electrodos) de las partes componentes de las sustancias disueltas o de otras, que resultan de las reacciones secundarias en esos electrodos.

2º. *Primera ley de Faraday (primera ley de la electrólisis):* la masa M de substancia que se desprende en el electrodo es directamente proporcional a la carga eléctrica Q que pasa por el electrólito:

$$M = kQ = kIt$$

si a través de éste se hace pasar, durante el tiempo t , corriente continua de intensidad I .

El coeficiente de proporcionalidad k se denomina *equivalente electroquímico* de la substancia. Este coeficiente es numéricamente igual a la masa de la substancia desprendida cuando por el electrólito pasa la unidad de carga eléctrica, y depende de la naturaleza química de dicha substancia.

3º. *Segunda ley de Faraday (segunda ley de la electrólisis):* los equivalentes electroquímicos de los elementos son directamente proporcionales a sus equivalentes químicos:

$$k = Ck_x$$

donde C es cierta constante universal para todos los elementos, y k_x es el equivalente químico,

$$k_x = 10^3 \frac{A}{z}$$

Aquí A es la masa atómica del elemento (en kg./mol), y z , su valencia.

Así pues, $k = \frac{1}{F} \frac{A}{z}$ siendo $F = \frac{10^{-3}}{C}$ la *constante de Faraday (número de Faraday)* (IX).

4º. *La ley unificada de la electrólisis (ley unificada de Faraday):*

$$M = \frac{1}{F} \frac{A}{z} Q,$$