2º. La corriente eléctrica surge en el metal bajo la acción del campo eléctrico externo (III.7.1.4º) que provoca el movimiento ordenado de los electrones. La densidad de la corriente j es igual a la carga de todos los electrones que pasan en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de la sección transversal del conductor,

$$\mathbf{j} = n_o c\langle \mathbf{v} \rangle ,$$

donde n_o es el número de electrones de conducción que hay en la unidad de volumen; e, la magnitud absoluta de la carga del electrón; y $\langle v \rangle$, la velocidad media del movimiento ordenado de los electrones bajo la acción del campo eléctrico externo. Para las mayores densidades de corriente, $\langle v \rangle$ es aproximadamente igual a 10^{-4}m/s, es decir, es insignificante en comparación con las velocidades térmicas de lo electrones (p.1º).

3º. La corriente eléctrica en el circuito se establece en un tiempo $t = \frac{L}{c}$, donde *L* es la longitud del circuito, y *c,* la velocidad de la luz en el vacío. El tiempo *t* coincide con el tiempo que tarda en establecerse, a lo largo del circuito, el campo eléctrico estacionario y el movimiento ordenado de los electrones simultáneamente en todo el circuito. Por esto, la corriente eléctrica surge prácticamente al mismo tiempo que se cierra el circuito.

4º. La *ley de Ohm* para la densidad de corriente (*ley de Ohm en forma diferencial)* es

$$\mathbf{j} = y\mathbf{E} = \frac{1}{p}\mathbf{E}.$$

La densidad de corriente en un conductor es igual al producto de la *conductividad eléctrica* γ por la intensidad del campo eléctrico E. La magnitud $p = \frac{1}{y}$ se llama *resistividad o resistencia especifica.*

La conductividad eléctrica se calcula (en la teoría electrónica clásica) por la fórmula

$$y = \frac{n_o e(\lambda)}{2m\langle u \rangle}, \quad p = \frac{2m\langle u \rangle}{n_o e\langle \lambda \rangle}$$

en la que n_o es el número de electrones que hay en la unidad de volumen del metal; (λ), el recorrido libre medio del electrón (II.3.5.1º); (u), la velocidad media aritmética del movimiento térmico de los electrones (II.3.3.6º); e, la magnitud absoluta de la carga del electrón; y m, la masa de éste.

5º. Durante el recorrido libre medio, el electrón adquiere, por la acción del campo, la velocidad del movimiento ordenado, igual (al final del recorrido) a v_{max}. Cuando el electrón choca con un Ion, el mismo pierde dicha velocidad, y la energía del movimiento ordenado se transforma en energía interna del conductor, el cual se calienta cuando por él pasa corriente eléctrica.

Se da el nombre de *densidad volumétrica de potencia calorífica de la corriente w,* a la magnitud de la energía que se desprende de la unidad de volumen del conductor en la unidad de tiempo. La *ley de Joule- Lenz* para la densidad volumétrica de potencia calorífica de la corriente constituye

$$w = \mathbf{jE} = yE^2 = \frac{1}{p}E^2$$

Ley de Joule- Lenz en forma diferencial: la densidad volumétrica de potencia calorífica de la corriente es igual al producto escalar de los vectores densidad de la corriente e intensidad del campo eléctrico.

La densidad volumétrica de potencia calorífica de la corriente no depende del carácter de las colisiones de los electrones con los nudos de la red cristalina (choque elástico o inelástico (I.3.5.3º)). De las leyes de conservación de la energía y el impulso se deduce que la energía ΔW transmitida al Ion en la colisión de un electrón con un Ion, constituye solamente una pequeña parte de la energía W_{el} del electrón. En el choque inelástico $\frac{\Delta W}{W_{el}} = \frac{m}{m+M}$, y el elástico $\frac{\Delta W}{W_{el}} = \frac{4mM}{(m+m)^2}$, donde *m* es la masa del electrón, y M, la masa del Ion. En ambos casos, prácticamente $\frac{\Delta W}{W_{el}} \approx \frac{m}{M} \approx 10^{-4}$,

6º. *Ley de Wiedemann-Franz:* Para todos los metales, la relación entre el coeficiente de conductibilidad térmica K (II.3.8.5º) y la conductividad eléctrica γ es directamente proporcional a la temperatura absoluta T:

$$\frac{K}{y} = 3\left(\frac{k}{e}\right)^2 T,$$

donde *k* es la constante de Boltzmann (II.1.4.5º), y *e,* la carga del electrón.

7º. *Defectos de la teoría electrónica clásica de la conductibilidad de los metales:*

a) imposibilidad de explicar la dependencia lineal que se observa experimentalmente en un amplio intervalo de temperaturas entre la resistividad ρ y la temperatura absoluta: ρ ~ *T;*

b) valor erróneo del calor molar de los metales. Este valor, según dicha teoría, debe ser igual a $9\frac{cal}{mol.K}$ y se compone de la capacidad calorífica iónica de la red cristalina $\left(6\frac{cal}{mol.K}\right)$ y de la capacidad calorífica del gas electrónico monoatómico $\left(3\frac{cal}{mol.K}\right)$ pero por la ley empírica de Dulong y Petit (VII.2.7.2º) sabemos que el calor molar de los metales difiere poco de otros sólidos y es igual aproximadamente a La ausencia de la componente electrónica de la capacidad calorífica de los metales es imposible de explicar clásicamente;

c) los valores experimentales de la resistividad ρ y los valores teóricos de la velocidad media aritmética de los electrones (u) conducen, por las fórmulas del p.4º, a la magnitud del recorrido libre medio de los electrones (λ), cuyo orden es dos veces superior al período de la red cristalina del metal. Esto contradice las suposiciones de la teoría clásica de la conductibilidad eléctrica de los metales.

§ III.7.2. Intensidad y densidad de la corriente

1^0 Se llama *intensidad de corriente* (en la técnica, la magnitud *I* suele llamarse *corriente*) la magnitud física escalar igual a la razón de la carga *dq* transportada a través de la superficie que se considere **) durante un pequeño intervalo de tiempo, a la magnitud *dt* de este intervalo:

$$I = \frac{dq}{dt}.$$

La corriente eléctrica se dice que es *continua (corriente eléctrica continua)* si su intensidad y sentido no varían con al tiempo. Para la corriente continua,

$$I = \frac{q}{t},$$

Siendo q la carga eléctrica transportada a través de la superficie que se considere **) durante el período de tiempo finito comprendido entre 0 y t.

2º. Si la corriente eléctrica es continua, en ningún punto del conductor deberán acumularse ni disminuir las cargas. El circuitote corriente continua debe ser cerrado y ha de cumplirse la condición $Q_{S_1} = Q_{S_2}$, en la que Q_{S_1} es la carga eléctrica total que, en la unidad de tiempo, entra a través de la superficie S_1 y S_2; y Q_{S_1} es la carga eléctrica total que, en la unidad de tiempo, sale de este volumen a través de la superficie S_2.

3º. En el sentido de la corriente eléctrica en distintos puntos de la superficie que se considere, y la distribución de la intensidad en esta misma superficie se determina por la densidad de la corriente. El *vector densidad de la corriente* **j** está dirigido en sentido contrario al movimiento de los electrones—portadores de la corriente en los metales *)—y es numéricamente igual a la relación entre la intensidad de la corriente dI a través de un elemento infinitesimal de la superficie normal a la dirección del movimiento de las partículas cargadas, y la magnitud $dS^{'}$ del área de dicho elemento:

$$\mathbf{j} = \frac{d\mathbf{I}}{dS^{'}}$$

Una relación más general entre la densidad de la corriente j y el elmento de intensidad dI es

$$dI = \mathbf{j}d\mathbf{S},$$

donde dS =**n**dS es el vector del área elemental; y n, el vector unidad de la normal al área dS, que forma con el vector j el ángulo α

4º. La intensidad de la corriente a través de una superficie arbitraria S constituye

$$I = \int_S \mathbf{j}d\mathbf{S} = \int_S j_n dS,$$