

## Классическая теория электропроводности металлов

Исходя из представлений о свободных электронах Друде создал классическую теорию электропроводности металлов, которая затем была усовершенствована Лоренцем.

Друде предположил, что электроны проводимости в металле ведут себя подобно молекулам идеального газа. У них есть средняя длина свободного пробега  $\lambda$  и они сталкиваются с ионами, образующими кристаллическую решетку. Среднюю скорость теплового движения электронов можно оценить:

$$\langle v \rangle = \sqrt{8kT/\pi m} \quad (1)$$

Закон Ома

Друде считал, что при соударении электрона с ионом кристаллической решетки приобретенная электроном за время свободного пробега дополнительная энергия передается иону. Предположим, что поле, ускоряющее электроны, однородно. Тогда под действием поля электрон получит постоянное ускорение, равное  $eE/m$  и к концу свободного пробега скорость упорядоченного движения достигнет в среднем значения:

$$u_{max} = \frac{eE}{m} \tau \quad (2)$$

Здесь  $\tau$  – время между двумя последовательными соударениями электрона и ионов.

Друде не учитывал распределение электронов по скоростям и приписывал всем электронам одинаковое значение скорости  $v$ , поэтому

$$\tau = \frac{\lambda}{v} \quad (3)$$

В итоге:

$$u_{max} = \frac{eE\lambda}{mv} \quad (4)$$

Среднее значение  $\langle u \rangle$  за пробег равно  $\frac{1}{2}u_{max}$  (т.к.  $u$  изменяется линейно).

Поскольку  $j = ne \langle u \rangle$ , получаем:

$$j = \frac{ne^2\lambda}{2mv} E \quad (5)$$

Плотность тока пропорциональна напряженности поля. Мы пришли к закону Ома и нашли выражение для удельной проводимости:

$$\sigma = \frac{ne^2\lambda}{2mv} \quad (6)$$

Закон Джоуля-Ленца

Друде полагал, что среднее приращение кинетической энергии электронов за счет их свободного движения равно:

$$\langle \Delta \epsilon_k \rangle = \frac{m \langle u^2 \rangle}{2} \quad (7)$$

Подставим выражение для  $u$ , найдя среднюю кинетическую энергию в конце свободного пробега:

$$\langle \Delta \epsilon_{k_{max}} \rangle = \frac{m e^2 \lambda^2 E^2}{2 m^2 v^2} \quad (8)$$

Удельная тепловая мощность, выделяемая за счет соударений электронов и ионов кристаллической решетки, будет равна произведению числа электронов в единице объема на число соударений в единицу времени и на найденную энергию, передаваемую во время соударений:

$$Q_{уд} = n \frac{1}{\tau} \langle \Delta \epsilon_{k_{max}} \rangle = n \frac{v}{\lambda} \langle \Delta \epsilon_{k_{max}} \rangle \quad (9)$$

$$Q_{уд} = \frac{ne^2\lambda}{2mv} E^2 \quad (10)$$

$$Q_{уд} = \sigma E^2 \quad (11)$$

Поскольку из закона Ома  $j^2 = \sigma^2 E^2$  или  $j^2 = \frac{1}{\rho} \sigma E^2$ , выходит, что:

$$Q_{уд} = \rho j^2 \quad (12)$$

Это выражение совпадает с законом Джоуля-Ленца, записанном в дифференциальной форме.