

призванная объяснить свойства металлов. Вот о ней и пойдет речь.¹

Электроны в металле: квазиимпульс и поверхность Ферми

В начале века было понято, что способность металлов проводить ток связана с существованием в них свободных электронов. Откуда они берутся, понять не сложно. При конденсации атомов металла в твердое тело атомы ионизируются: валентные электроны покидают своих «хозяев» и движутся в электрическом поле, создаваемом положительно заряженными ионами. Конечно, если бы не было электронов, ионы не могли бы удержаться на своих местах и разлетелись бы, ведь они отталкиваются друг от друга. Электроны их удерживают от этого — в целом металл нейтрален. Неплохой образ: ионная кристаллическая решетка, погруженная в электронный газ, состоящий из бывших валентных электронов.

«С точки зрения» ионов, газ не плотен: на каждый ион приходится столько электронов, сколько было у атома металла валентных электронов

Итак, свободные электроны в металле — очень плотный газ очень легких частиц. К чему я веду? Сейчас станет ясным. Появится несколько странное словосочетание — *квантовый газ*. Появится, но через несколько строк.

Электронную теорию металлов на основе представления о свободных электронах, как уже упоминалось, пытались создать еще в начале века. Основы этой теории заложил великий голландский физик Хендрик Антон Лоренц (1853–1928). Вы, думаю, знаете это имя. (Преобразования, используемые в теории относительности Эйнштейна, называют преобразованиями Лоренца. Но здесь речь идет не о них.) Лоренцу удалось многие свойства металлов неплохо объяснить, исходя из предположения, что в металлах есть *газ электронов*. Свойства газов в те годы были хорошо известны. Эти знания использовал Лоренц для объяснения свойств металлов. И в каком-то смысле это ему удалось. Правда, оставались странные недоразумения: свободные электроны (мы в дальнейшем их будем называть электронами проводимости — по их главной функции) объяснение электропровод-

да, когда условия жизни электрона, как члена коллектива (в классическом газе), вступают в противоречие с положениями квантовой физики.

Наверное, все знают, что одна из фундаментальных черт квантово-механического описания движения частиц — соотношение неопределенностей

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar, \quad (3)$$

где Δp — неопределенность импульса, Δx — неопределенность координаты, а $\hbar \sim 10^{-34}$ Дж·с — знаменитая постоянная Планка (без нее не обходится ни одна квантово-механическая формула). В газе, где в 1 м^3 содержится n частиц, на каждую частицу приходится объем $\sim 1/n$, т.е. $\Delta x \sim n^{-1/3}$. Следовательно, $\Delta p \geq \hbar n^{1/3}$. Для применимости классического описания необходимо, чтобы импульс электрона p был велик по сравнению с его неопределенностью Δp ($p \gg \Delta p$). Согласно закону равнораспределения, в газе средний импульс $p \sim \sqrt{mkT}$. Следовательно, газ можно считать классическим, если

$$T > \frac{\hbar^2 n^{2/3}}{km} \equiv T_{\text{кв}}. \quad (4)$$