

ГЛАВА V

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕОРИИ МЕТАЛЛОВ

§ 19. Свободные электроны в металлах

В растворах электролитов находятся свободные ионы, и прохождение электрического тока связано с одновременным переносом вещества к электродам. Какого же рода свободные заряды находятся в металлических проводниках и связаны ли эти заряды с атомами металла? Для ответа на этот вопрос и выяснения природы носителей электрического тока в металлах был поставлен целый ряд специальных опытов.

В опытах Рикке (1901 г.) цилиндры из различных металлов с тщательно пришлифованными основаниями были прижаты друг к другу и через них весьма длительное время пропускался электрический ток (рис. 2.19). По окончании опыта цилиндры были

разобраны и проанализированы на взаимное проникновение металлов. При этом были обнаружены лишь следы взаимного проникновения, не превышающие результатов обычной диффузии атомов в твердых телах.

Таким образом, оказалось, что перенос электрического заряда в металлах не связан с переносом самого вещества металла. Носители электрического тока не связаны с атомами и одинаковы во всех металлах. В металлический проводник, по которому идет постоянный ток, с одного конца входит такое же количество этих носителей тока, какое выходит с другого его конца, и заряд проводника при этом не изменяется.

Наличие в металле свободно перемещающихся зарядов должно проявляться в ряде инерционных эффектов. Если трамвай резко затормозить, то находящиеся внутри пассажиры будут двигаться по инерции вперед и скопятся у передней площадки вагона. Аналогично, если резко затормозить движущийся кусок металла, то

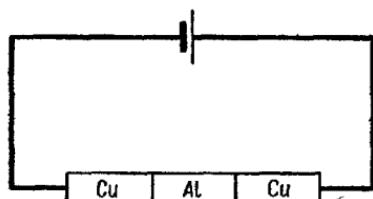


Рис. 2.19.

находящиеся в нем свободные заряды, двигаясь по инерции, будут скапливаться у переднего конца его и между концами проводника возникнет определенная разность потенциалов. Так можно определить знак этих зарядов и их относительную подвижность.

Существование подобных электроинерционных эффектов было установлено в 1913 г. Л. И. Мандельштамом и Н. Д. Папалекси с помощью следующего опыта. Катушка, соединенная с телефоном, приводилась в колебательное движение вокруг своей оси (рис. 2.20). Для увеличения амплитуды частота возбуждаемых крутильных колебаний подбиралась совпадающей с собственной частотой упругого

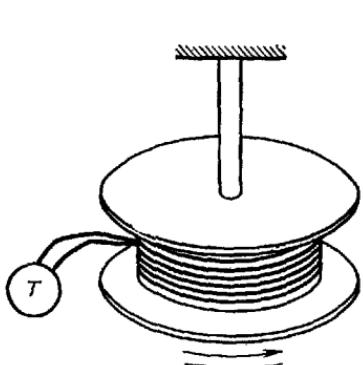


Рис. 2.20.

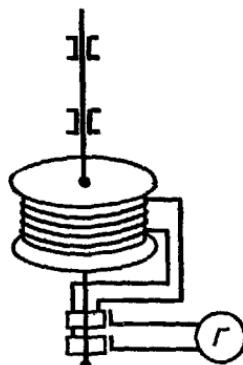


Рис. 2.21.

подвеса. Благодаря инерции свободных зарядов на концах катушки возникла переменная разность потенциалов, и телефон издавал звук.

Количественные измерения относительной инертности носителей электрического тока в материалах были произведены в 1916 г. Стюартом и Толмэном. В их опыте катушка из проводника приводилась в быстрое вращательное движение вокруг своей оси (рис. 2.21). Обозначим окружную скорость вращения катушки через v . С той же скоростью v движутся совместно с катушкой и свободные заряды в проводнике. Затем за сравнительно короткий промежуток времени катушка резко тормозится. Двигаясь по инерции и собираясь на одном конце катушки, свободные носители тока создают переменную разность потенциалов U . Катушка замкнута на баллистический гальванометр, измеряющий импульсы тока, и под действием возникшей э. д. с. в цепи начинает идти переменный ток i . По закону Ома

$$U = iR,$$

где R — полное сопротивление цепи. Возникшая при инерционном разделении зарядов в катушке разность потенциалов создает в проводнике электрическое поле $E = U/L$ (L — полная длина провода

в катушке), которое, тормозя движущиеся заряды, уменьшает их количество движения $m v$ (m — масса носителя тока) до нуля. Обозначим заряд носителя тока через e . Мгновенная сила, действующая на этот заряд, равна $f = eE$. Импульс этой силы $\int f dt$ за бесконечно малый промежуток времени равен изменению количества движения заряда $m dv$.

Отсюда

$$m dv = f dt = eE dt = \frac{eU}{L} dt = \frac{eR}{L} i dt = \frac{eR}{L} dq,$$

где $dq = i dt$ — элементарное количество электричества, протекшее через гальванометр за время dt (элементарный импульс тока). Интегрируя полученное равенство по времени торможения катушки, получим

$$\int_v^0 m dv = \frac{Re}{L} \int_0^q dq,$$

где q — полный заряд, протекший через баллистический гальванометр и измеряемый по отбросу последнего. Выполняя указанное интегрирование, получаем

$$\frac{e}{m} = -\frac{Lv}{Rq}. \quad (19.1)$$

Таким образом из опытов Сьюарта и Толмэна был определен удельный заряд e/m носителей электрического тока в металлах. Первые измерения дали

$$\frac{e}{m} \approx -4,8 \cdot 10^{17} \frac{\text{СГС ед. заряда}}{\text{з}} = -1,6 \cdot 10^{11} \text{ к/кг}. \quad (19.2)$$

Незадолго до этого Милликен определил элементарный электрический заряд, который оказался равным $e = \pm 4,8 \cdot 10^{-10}$ СГС ед. заряда $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ к. Отсюда можно было оценить, что масса носителей тока в металлах

$$m \approx 10^{-27} \text{ з} = 10^{-29} \text{ кг} \quad (19.3)$$

и примерно в 2000 раз меньше массы самого легкого атома — атома водорода.

Полученные значения удельного заряда и массы практически совпали с соответствующими значениями, измеренными ранее для электронов, движущихся в вакууме.

Таким образом, было окончательно установлено, что *носителями электрического тока в металлах являются свободные электроны*.