

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ**О ПРИМЕНЕНИИ ТЕРМОДИНАМИКИ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ФЛУКТУАЦИЯМ *)**

В мартовском номере УФН за 1954 г. опубликованы моя статья о термодинамике электрических флуктуаций и ответ В. Л. Гинзбурга. Вся физическая аргументация этого ответа опирается на опровергающий «схоластические» рассуждения М. Л. Левина «реальный» пример: тонкий [по сравнению с толщиной скин-слоя] проводник при температуре $0,1^\circ \text{K}$, для которой классическая область частот лежит ниже 10^{10} . Пользуясь известными оценками числа соударений в металлах, В. Л. Гинзбург заключает, что дисперсия проводимости σ , а вместе с ней и сопротивления R начинается лишь при частотах порядка 10^{12} . Однако такое заключение, как хорошо известно В. Л. Гинзбургу [см. его обзорную статью в ноябрьском номере УФН за 1950 г.], несостоятельно. При гелиевых температурах уже на метровых волнах толщина скин-слоя δ меньше длины свободного пробега l . Следовательно, и толщина проводника a мала по сравнению с l . Поэтому вообще нельзя говорить о проводимости σ , являющейся коэффициентом в законе Ома, справедливым лишь при $l \ll \delta$, $l \ll a$.

Так как толщина проводника мала по сравнению с длиной пробега, то для нахождения сопротивления R нужно пользоваться методами электронной теории. Не предвосхищая результатов таких микроскопических расчётов, заметим, однако, что — поскольку на низких радиочастотах $\delta \gg l$, а на высоких $\delta \ll l$ — нет никаких оснований заранее утверждать, что сопротивление R будет постоянным во всём интервале радиочастот.

М. Л. Левин

*

* * *

В заметке¹ была, по моему мнению, выяснена ошибочность основного положения, содержащегося в статье М. Л. Левина². Однако в своём письме³ М. Л. Левин совершенно обходит вопросы, обсуждавшиеся раньше^{1,2}, делает новые неверные утверждения и при этом без всяких на то оснований заявляет, что мне «хорошо известна» «несостоятельность» моих собственных заключений. Всё это заставляет сделать несколько замечаний.

1. Основное утверждение, содержащееся в статье М. Л. Левина, сводилось к тому, что «в квантовой области частот нельзя, даже не учитывая скин-эффекта, считать сопротивление не зависящим от частоты»². В¹ было,

*) От редакции. Публикуя письма М. Л. Левина и В. Л. Гинзбурга, редакция считает дискуссию по вопросу о применении термодинамики и электрическим флуктуациям законченной.

во-первых, указано, что подход М. Л. Левина к решению вопроса о зависимости сопротивления R от частоты ω не является физическим, поскольку М. Л. Левин не делает никаких количественных оценок величины изменения R с ω ; в то же время достаточно слабая зависимость R от ω не может нарушить справедливость расчётов, в которых сопротивление считается постоянным. Во-вторых, и это главное, в¹ показано, что приведённое основное утверждение М. Л. Левина ошибочно, как это, на мой взгляд, совершенно очевидно из следующих соображений. В квантовую область мы вступаем как только $\hbar\omega \gtrsim kT$, где ω — рассматриваемая частота и T — абсолютная температура. Поэтому, выбирая температуру достаточно низкой, можно достичь того, что квантовая область будет охватывать такие низкие частоты, при которых изменение R с ω достаточно мало, как это хорошо известно и из теории и из опыта. Таким образом, нет никаких оснований отрицать, как это делает М. Л. Левин², принципиальную возможность осуществления контура, находящегося в квантовой области и обладающего постоянным сопротивлением.

Всё сказанное содержится в¹, но просто игнорируется М. Л. Левиным, который хочет считать физическим лишь приведённый в¹ конкретный пример, носящий чисто иллюстративный характер*). Этот пример, впрочем, также совершенно правилен, о чём сказано ниже. Что же касается того, является ли приведённая выше и в¹ аргументация физической или нет, то об этом предоставляем судить читателям. Здесь мне хотелось бы лишь указать, что упоминание в¹ о «тепловой смерти» не является удачным, так как при желании может быть неправильно истолковано. Поэтому должен заметить, что у меня не было никакого намерения приписывать М. Л. Левину защиту представлений о «тепловой смерти» Вселенной, и этот вопрос был упомянут в¹ лишь в качестве примера, не имеющего прямого отношения к обсуждаемой проблеме.

2. Как ясно уже из процитированного выше утверждения М. Л. Левина, он в своей статье³ скин-эффект не учитывал. Поэтому, естественно, и в¹ вопрос о скин-эффекте не обсуждался, хотя и сделана соответствующая оговорка. В своём письме³ М. Л. Левин совершенно отказался от ссылок на квантовые явления (и тем самым, насколько я могу судить, фактически признал ошибочность своей статьи²), но выдвигает на передний план именно вопрос о скин-эффекте. Легко видеть, однако, что учёт скин-эффекта ни в какой мере не может изменить вывода^{1,4} о возможности и в квантовой области считать сопротивление с достаточной точностью не зависящим от частоты. Это казалось бы совершенно ясно из сказанного ранее, так как при достаточно низкой температуре квантовые явления наступают при достаточно низкой частоте, когда роль скин-эффекта может быть сделана сколь угодно малой. Вопрос же об аномальном характере скин-эффекта для тонких образцов, на котором только и основывается в своём письме³ М. Л. Левин, не имеет никакого отношения к существу обсуждаемой проблемы, поскольку, варьируя температуру, материал (проводимость) проволоки и её радиус, всегда можно выбрать условия, в которых скин-эффект в рассматриваемом контуре^{1, 2, 4} является нормальным.

Сделанные замечания, по моему мнению, исчерпывают вопрос. Но нельзя не коснуться здесь также и обсуждаемого в письме³ М. Л. Левина примера из¹, поскольку только этот пример считается «физическим» и в то же время неправильным, что будто бы следует из моей статьи⁵. В действительности, в⁵ вопрос о сопротивлении тонких проволок даже не затрагивается. Если же рассмотреть этот вопрос, то легко видеть, что для полного тока, текущего по проволочке, справедлив закон Ома, и интересую-

*) В этом примере (см.¹, стр. 496, строка 10 снизу) неправильно написано $\omega \ll \omega_0$ вместо $\omega \gg \omega_0$.

щее нас сопротивление проволоочки R имеет вполне определённый смысл, несмотря на невозможность пользоваться в области аномального скин-эффекта дифференциальным законом Ома и обычным понятием проводимости (см., например, 6). Далее, можно показать, что частотная зависимость R для тонких проволоочек в условиях аномального скин-эффекта является слабой, аналогично тому, как это имеет место в случае нормального скин-эффекта. Поэтому приведённый в¹ пример не встречает возражений и в этом плане. Приводить здесь соответствующие оценки и трудно за недостатком места и, главное, совершенно излишне в свете упомянутой выше возможности указать другие примеры, где скин-эффект является нормальным и нахождение зависимости $R(\omega)$ производится по хорошо известным формулам.

Из всего сказанного ясно, что письмо М. Л. Левина³ содержит лишь новые неверные утверждения, но ни в какой мере не приводит к изменению выводов, сделанных ранее¹ в отношении его статьи².

В. Л. Гинзбург

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Гинзбург, УФН 52, 494 (1954).
2. М. Л. Левин, УФН 52, 486 (1954).
3. М. Л. Левин, УФН (см. этот номер стр. 146).
4. В. Л. Гинзбург, УФН 46, 348 (1952).
5. В. Л. Гинзбург, УФН 42, 333 (1950).
6. E. H. Sondheimer, Adv. in Phys. 1, 1 (1952).

Успехи физических наук, том LVI, вып. 1.

Редактор Г. В. Розенберг.

Техн. редактор С. Н. Ахламов.

Корректор Л. О. Сечейко.

Сдано в набор 24/III 1955 г.

Подписано к печати 14/V 1955 г. Бумага 60×92/16.

Физ. печ. л. 9,25

Условн. печ. л. 9,25

Уч.-изд. л. 9,54.

T-04307.

Тираж 5620 экз.

Цена книги 8 руб.

Заказ № 145

Государственное издательство технико-теоретической литературы.
Москва, В-71, Б. Калужская 15.

13-я типография Главполиграфпрома
Министерства культуры СССР. Москва, Гариновский пер., 1а.