

Я. Г. ДОРФМАН

ПАРАМАГНИТНЫЙ И ДИАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ

(Представлено академиком Л. Д. Ландау 10 X 1951)

Парамагнитным резонансом именуется, как известно, явление избирательного поглощения квантов энергии радиочастотного поля, связанное с изменением ориентации элементарных магнетиков (электронных спинов, ядер, ионов, атомов и т. д.) относительно постоянного магнитного поля H ⁽¹⁾. Такого рода эффект должен, очевидно, иметь место и для электронов проводимости. Максимум селективного поглощения соответствует при этом частоте

$$\nu_p = \frac{2\mu H}{h} = \frac{eH}{mc}, \quad (1)$$

где μ — спиновый магнитный момент электрона, e — заряд, а m — масса покоя электрона.

Наряду с этим общеизвестным парамагнитным эффектом у электронов проводимости следует ожидать существования и другого вида магнитного резонанса, который мы назовем диамагнитным резонансом. Этот эффект, до сих пор, повидимому, еще не описанный в литературе, должен быть непосредственно связан с диамагнетизмом электронов проводимости, открытым Л. Д. Ландау ⁽²⁾.

Диамагнетизм электронов проводимости вызван, как известно, тем обстоятельством, что при наличии внешнего постоянного магнитного поля H электроны проводимости описывают квантованные орбиты в плоскости, перпендикулярной к направлению H .

В случае совершенно свободных электронов проводимости энергия этих орбит

$$E_n = \frac{ehH}{mc} \left(n + \frac{1}{2} \right), \quad (2)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$

Таким образом, диамагнитный резонанс электронов проводимости должен быть связан с квантовыми переходами, при которых n меняется на ± 1 . В этом случае максимум диамагнитного резонанса должен соответствовать частоте

$$\nu_d = \frac{eH}{mc} \quad (3)$$

Таким образом, для совершенно свободных электронов следует ожидать существования двух принципиально различных эффектов, частоты которых, однако, между собою совпадают, т. е.

$$\nu_p = \nu_d.$$

Необходимо подчеркнуть, что парамагнитный резонанс вызывается составляющей переменного магнитного поля, перпендикулярной к направлению постоянного поля H . Между тем, диамагнитный эффект должен вызываться составляющей переменного магнитного поля, параллельной H . Это обстоятельство позволяет отделить эффекты друг от друга.

В случае квази-связанных электронов энергия квантованных орбит в постоянном поле H определяется в первом приближении соотношением

$$E_n = \frac{ehH}{m^*c} \left(n + \frac{1}{2} \right), \quad (4)$$

где m^* — так называемая «эффективная масса» электронов проводимости. Следовательно,

$$\nu_d = \frac{eH}{m^*c}, \quad (5)$$

между тем как максимум парамагнитного резонанса попрежнему определяется выражением (1).

Таким образом, в этом случае $\nu_p \neq \nu_d$.

Магнитный резонанс электронов проводимости наблюдался до сих пор, насколько нам известно, лишь в растворах щелочных металлов в жидком аммиаке (³, ⁴). Установка соответствовала специальным условиям наблюдения парамагнитного резонанса, так как авторы не предвидели возможности существования диамагнитного резонанса. Они, действительно, наблюдали лишь парамагнитный эффект при частоте ν_p . Обнаружение диамагнитного резонанса электронов проводимости представляет, по нашему мнению, интерес для физики металлов и полупроводников, так как опытное измерение частоты ν_d позволило бы непосредственно определять численные значения «эффективной массы» m^* для различных электронных проводников и при разнообразных условиях.

В заключение я хочу искренне поблагодарить К. Тер-Мартirosяна за критическое обсуждение изложенных здесь вопросов.

Поступило
27 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Я. Г. Дорфман, *Zs. f. Phys.*, **17**, 98 (1923). ² Л. Д. Ландау, *ibid.*, **64**, 629 (1930). ³ C. Hutchison and R. Pastor, *Phys. Rev.*, **81**, 282 (1951). ⁴ M. Garstens and A. Ryan, *ibid.*, **81**, 888 (1951).