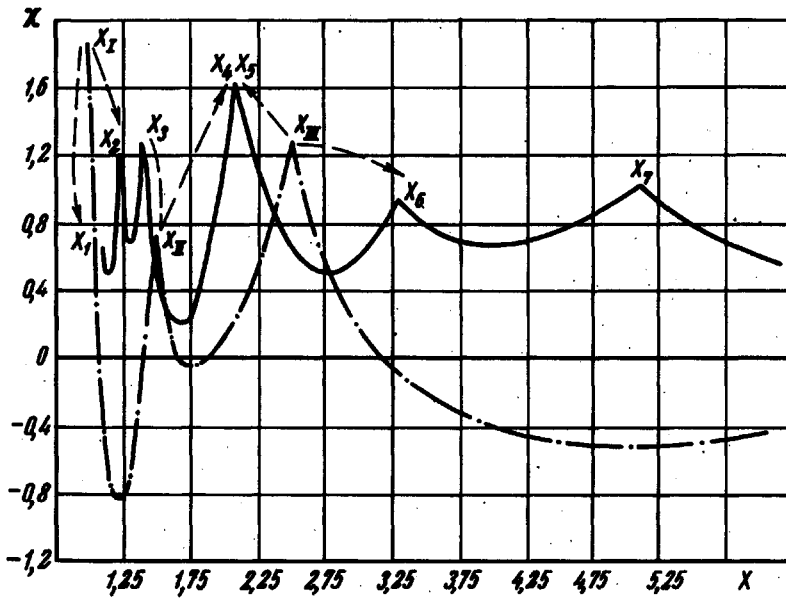


ВЛИЯНИЕ ВЗАИМНОГО СМЕЩЕНИЯ МИНИМУМОВ ДОЛИН В МАГНИТНОМ ПОЛЕ НА ОСЦИЛЛЯЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ

Е. П. Покатиков

Гамильтониан эффективной массы для кристаллов с низкой симметрией (например, с решеткой типа Те [1,2]) может иметь слагаемое вида $HV(\mathbf{k})$ [3], пропорциональное магнитному полю H , для чего необходимо, чтобы группа волнового вектора допускала инвариантный мнимый

псевдовектор $\mathbf{V}(\mathbf{k})$. Наличие такого члена в гамильтониане вызывает взаимное смещение минимумов, расположенных в точках \mathbf{k} и $-\mathbf{k}$ зоны Бриллюэна, и приводит к некоторой особенности во всех осцилляционных явлениях, возникающих вследствие осцилляций электронной плотности состояний. В качестве примера далее рассмотрен эффект де Гааза ван Альфена.



Осцилляции магнитной восприимчивости в зависимости от безразмерного магнитного поля: $\eta_I = (3 + b_1 + b_2)x_1$, $\eta_{II} = (3 + b_1 - b_2)x_2$, $\eta_{III} = (3 - b_1 + b_2)x_3$, $\eta_{IV} = (3 - b_1 - b_2)x_4$, $\eta_V = (1 + b_1 + b_2)x_5$, $\eta_{VI} = (1 + b_1 - b_2)x_6$, $\eta_{VII} = (1 - b_1 + b_2)x_7$; $\eta_I = (3 + b_1)x_I$, $\eta_{II} = (3 - b_1)x_{II}$, $\eta_{III} = (1 + b_1)x_{III}$; штрих-пунктирной кривой обозначена χ_I , сплошной — χ_2

1. Энергия электрона в квантующем, произвольно ориентированном магнитном поле для долины с симметрией эллипсоида вращения имеет вид

$$\epsilon(n, a, l, p_z) = \beta^* H \epsilon_{n,a,l} + \frac{p_z^2}{2m_2^*}, \quad \epsilon_{n,a,l} = 2n + 1 + ab_1 + lb_2.$$

$$a = \pm 1, \quad l = \pm 1, \quad \beta^* = e\hbar / 2m_1^* c, \quad b_1 = g\beta_0 / 2\beta^*, \quad b_2 = V / \beta^*, \quad (1)$$

m_1^* , m_2^* , V — эффективные массы и константа взаимного смещения минимумов, зависящие от угла между направлением магнитного поля и

осью симметрии. Спин b_1 и константа взаимного смещения минимумов b_2 входят в энергию совершенно симметрично, поэтому магнитная восприимчивость χ для невырожденного электронного газа содержит два аналогичных парамагнитных члена:

$$\chi = \chi_0 \left(\frac{1}{x} - \text{cth } x + b_1 \text{th } b_1 x + b_2 \text{th } b_2 x \right) / x, \quad (2)$$

$$\chi_0 = N \beta^* / V k T, \quad x = \beta^* H / k T.$$

2. Из формулы (1) видно, что взаимное смещение минимумов должно вызвать двукратное расщепление осцилляционных пиков, величину которого мы проиллюстрируем численным расчетом, например, эффекта де Гааза – ван Альфена.

Рассмотрим случай, когда $T = 0$ и заполнены уровни только с $n = 1, 0$. На горизонтальной оси (см. рисунок) отложено магнитное поле $x = H / H_0$, где H_0 определяется из условия $\eta = 3 + b_1 + b_2$. На вертикальной – $\chi = -(1/x)(\partial \xi / \partial x)$. Здесь $\eta = \xi / \beta^* H_0$, $\xi = E / G$ – безразмерные химический потенциал и энергия электронного газа

$$G = \frac{(2m_2^*)^{1/2} m_1^* V (\beta^* H_0)^{3/2}}{\pi^2 \hbar^3}$$

Кривая χ_1 построена для значений параметров $b_1 = 0,6$, $b_2 = 0$; кривая χ_2 – для $b_1 = 0,6$, $b_2 = 0,4$. Даже при взятом относительно малом значении b_2 хорошо проявляется двукратное расщепление. Стрелками показано, из каких пиков χ_1 получаются пики χ_2 .

3. Общий случай произвольных (но квантующих) полей и произвольных температур может быть рассмотрен по методу, предложенному в [4]. Вычисления приводят к формулам, аналогичным хорошо известным выражениям для эффекта де Гааза – ван Альфена, но с дополнительным парамагнитным слагаемым $\sim b_2^2$ и дополнительным множителем $\cos(\pi b_2)$ в осциллирующей сумме.

Автор выражает благодарность Э.И.Рашбе за указание на возможность эффекта взаимного смещения минимумов и полезные советы при выполнении работы, а также М.Г.Блаже и Л.В.Покатиловой за выполнение численных расчетов.

Кишиневский
государственный университет

Поступило в редакцию
23 января 1968 г.

Литература

- [1] Ю.А.Фирсов. ЖЭТФ, 32, 1350, 1957.
- [2] Г.Е.Пикус. ФТТ, 3, 2809, 1961.
- [3] Э.И.Рашба. УФН, 84, 557, 1964.
- [4] А.Н.Уилсон. The theory of metals, Cambridge, 1954.