

К ВОПРОСУ О МАГНИТНОМ ПРОБОЕ В БЕРИЛЛИИ

Н.Е.Алексеевский, П.Дхир¹⁾, В.И.Нижанковский

Исследование магнитного пробоя в бериллии, обнаруженного еще в 1963 году [1], в настоящее время посвящено относительно много работ. Как известно, в результате пробоя на кривых магнитосопротивления бериллия наблюдаются гигантские осцилляции, если поле параллельно гексагональной оси [2]. Изучение природы этих осцилляций представляет существенный интерес, так как дает дополнительную информацию о динамике электронов в металле.

Нами было проведено исследование температурной зависимости амплитуды осцилляций магнитосопротивления в широком интервале температур на образцах бериллия, имевших $\rho_{300^{\circ}\text{K}} / \rho_{4,2^{\circ}\text{K}} \sim 150$. Измерения проводились в поле сверхпроводящего соленоида. В ряде случаев для увеличения поля использовались перменджуровые концентраторы (описание использовавшегося устройства см. [3]). Образец помещался в отдельный криостат, вставлявшийся внутрь сверхпроводящего соленоида, что позволяло проводить измерения как при температуре жидкого гелия и водорода, так и в промежуточной области температур. В последнем случае температура определялась по сопротивлению угольного термометра типа "Allen – Bredly", при этом "тепловым блоком" служили перменджуровые концентраторы.

На рис. 1 приведены зависимости относительной амплитуды осцилляций (определяемой отношением осциллирующей части магнитосопротивления к монотонной) от температуры при различных значениях магнитного поля. Линии, проходящие через экспериментальные точки, опи-

¹⁾ П.Дхир – сотрудник Делийского университета, Индия.

связываются выражением

$$\left(\frac{\rho_{\text{осц}}}{\rho}\right) = f(H) \frac{\beta T/H}{\text{Sh}(\beta T/H)}, \quad (1)$$

где $\beta = (\pi^2 k / \mu_B) (\pi^* / m)$.

Такая температурная зависимость была получена в работе [4] для эффекта де Гааза – ван Альфена. Определенная из температурной зависимости амплитуды осцилляции эффективная масса носителей оказалась равной $m^*/m = 0,180 \pm 0,005$, что находится в хорошем согласии с данными по циклотронному резонансу [5] для эффективной массы "сигары".

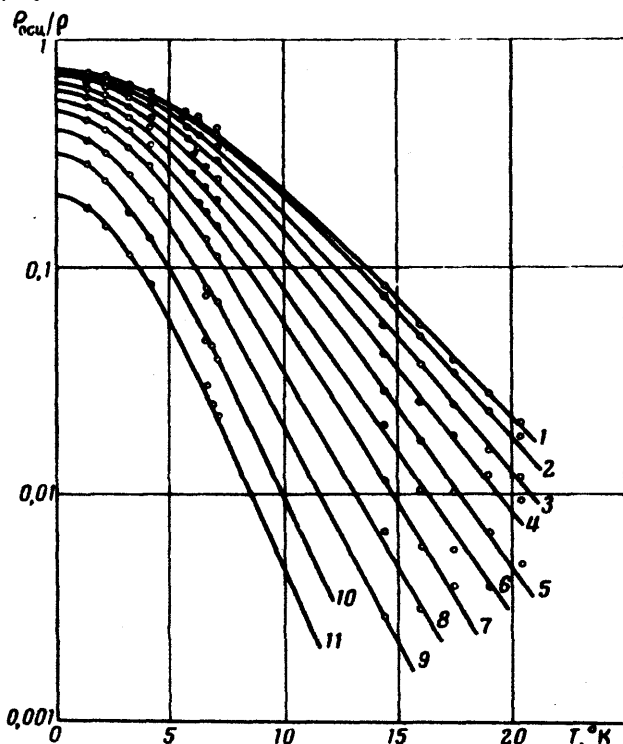


Рис. 1. Зависимость относительной амплитуды осцилляции от температуры при фиксированных значениях магнитного поля: 1 – $H = 88$ кэ; 2 – $H = 85$ кэ; 3 – $H = 80$ кэ; 4 – $H = 75$ кэ; 5 – $H = 70$ кэ; 6 – $H = 65$ кэ; 7 – $H = 60$ кэ; 8 – $H = 55$ кэ; 9 – $H = 50$ кэ; 10 – $H = 45$ кэ; 11 – $H = 40$ кэ

Входящую в выражение (1) зависимость амплитуды осцилляций от магнитного поля $f(H)$ можно приближенно, как и для эффекта де Гааза – ван Альфена представить в виде

$$f(H) = k_1 e^{-\frac{\beta}{H} D} \quad (2)$$

где D – параметр Дингла, k_1 – константа. На рис. 2 приведены зависимости $\rho_{\text{осц}}/\rho$ от обратного магнитного поля при разных фикси-

рованных температурах. Результаты вычисления из этих зависимостей параметра Дингла представлены на рис. 3.

Видно, что в пределах экспериментальной погрешности, зависимость параметра Дингла от магнитного поля описывается выражением

$$\Gamma = k_2 e^{H_0/H} \quad (3)$$

Таким образом, с увеличением вероятности пробоя $p = e^{-H_0/H}$ параметр Дингла уменьшается как $1/p$. Вычисленное значение параметра пробоя H_0 оказалось равным 110 ± 15 кэ, что несколько меньше H_0 , определенного по эффекту де Гааза – ван Альфена [6].

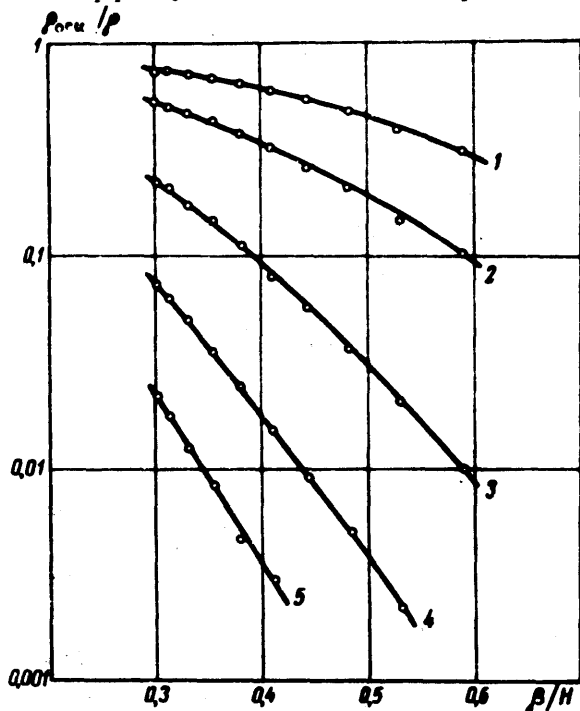


Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды осцилляции от обратного магнитного поля при фиксированных температурах: 1 – $T = 0^\circ\text{K}$; 2 – $T = 5^\circ\text{K}$; 3 – $T = 10^\circ\text{K}$; 4 – $T = 15^\circ\text{K}$; 5 – $T = 20^\circ\text{K}$

При исследовании зависимости магнитосопротивления бериллия от поля, в отличие от ранее полученных результатов [7], нами было обнаружено небольшое отклонение осциллирующей части магнитосопротивления от синусоидальности. На рис. 4 приведен пример записи сопротивления образца как функции магнитного поля. Видно, что отклонение от синусоидальности проявляется в уширении нижней части приведенной осциллирующей зависимости (наблюдаемая в эксперименте низкочастотная модуляция осцилляций рассмотрена в работе [8]). Если отклонение от синусоидальности характеризовать отношением ширины нижней и верхней части осцилляций, измеренных на расстоянии 0,1 амплитуды от соответствующего экстремума магнитосопротивления (см. рис. 4), то в данном случае это отношение равно $\delta = 1,25$

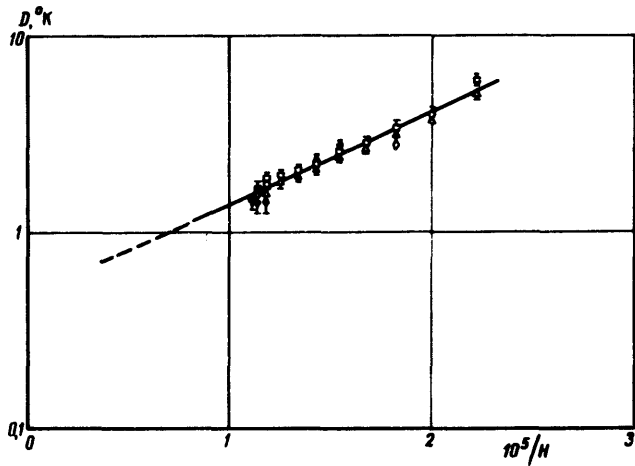


Рис. 3. Зависимость параметра Дингла от обратного магнитного поля: \circ - $T = 0^\circ\text{K}$; \triangle - $T = 5^\circ\text{K}$; \square - $T = 10^\circ\text{K}$; \diamond - $T = 15^\circ\text{K}$; ∇ - $T = 20^\circ\text{K}$

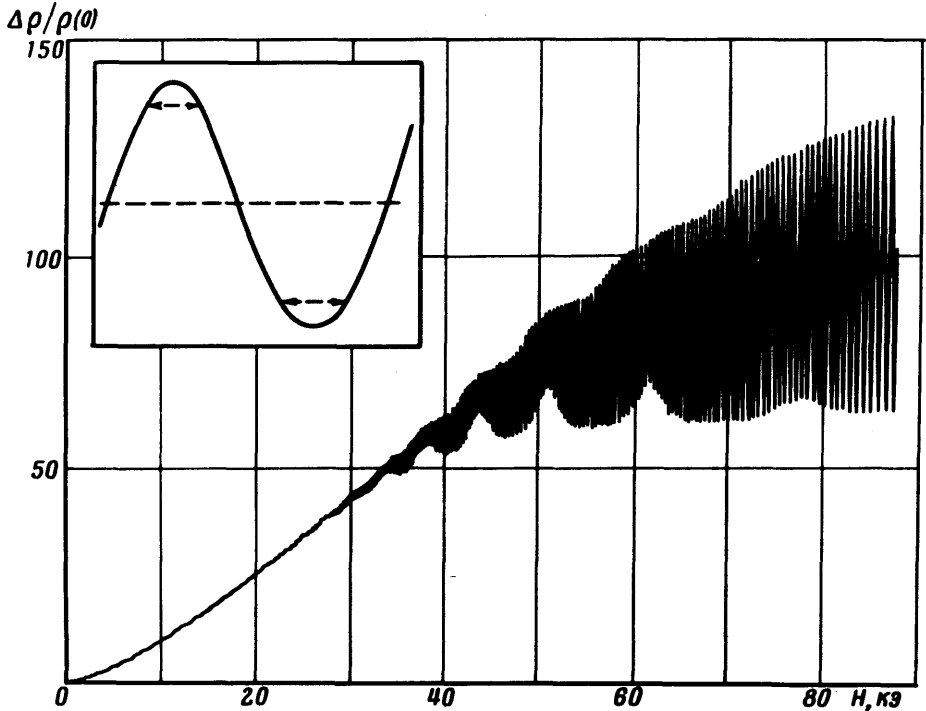


Рис. 4. Пример записи магнитосопротивления образца бериллия как функции поля при $T = 1,4^\circ\text{K}$. Измерительный ток $I_{\text{изм}} = 100 \text{ мА}$. Пунктирная линия соответствует монотонной части магнитосопротивления. В увеличенном масштабе показан участок осциллирующей зависимости в районе $H \sim 70 \text{ кэ}$

при измерительном токе $I_{\text{изм}} = 100 \text{ ма}$. С ростом измерительного тока несинусоидальность уменьшается. Так при $I_{\text{изм}} = 3\alpha$ $\delta = 1,15$. Уменьшение отклонений от синусоидальности при возрастании тока, вероятно, происходит из-за увеличения неоднородности магнитного поля по сечению образца, следствием чего может быть размывание доменной картины намагничения образца.

Влияние величины измерительного тока на результаты измерения сказывается также и на амплитуде осцилляции. Так, например, при $I_{\text{изм}} = 100 \text{ ма}$ амплитуда осцилляций $\rho_{\text{осц}}/\rho = 0,79$, а при $I_{\text{изм}} = 3\alpha$ $\rho_{\text{осц}}/\rho = 0,70$, т. е. увеличение тока до 3α вызывает уменьшение амплитуды осцилляций на 12%.

На основании проведенных исследований можно заключить, что определенная из температурной зависимости амплитуды осцилляции эффективная масса носителей m^*/m и параметр магнитного пробоя H_0 находится в удовлетворительном согласии с данными, полученными другими методами.

Наблюденная зависимость амплитуды и формы осцилляций от измерительного тока, по-видимому, определяется изменением неоднородности магнитного поля и может быть согласована с результатами работы [7].

Наблюденная зависимость вероятности магнитного пробоя от величины поля, по-видимому, может являться следствием когерентных эффектов, рассмотренных, например в [7].

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
16 июля 1971 г.

Литература

- [1] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров. ЖЭТФ, 45, 388, 1963.
- [2] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров, А.Е.Дубровин. Письма в ЖЭТФ, 6, 793, 1967.
- [3] Н.Е.Алексеевский, А.Е.Дубровин, Г.Э.Карстенс, Н.Н.Михайлов. ЖЭТФ, 54, 350, 1968.
- [4] И.М.Лицшиц, А.М.Косевич. ЖЭТФ, 29, 730, 1955.
- [5] W.R.Watts. Proc. Roy. Soc., A282, 521, 1962.
- [6] Н.Е.Алексеевский, В.С.Егоров. Письма в ЖЭТФ, 8, 301, 1968.
- [7] Н.Е.Алексеевский, А.А.Слуцкий, В.С.Егоров. J. Low Temp. Physics, 1971 г. (в печати)
- [8] W.A.Reed, J.N.Condon. Phys. Rev., B1, 3504, 1970.