

## Температурная зависимость термоэдс $n$ -InSb в поперечном квантующем магнитном поле

© М.М. Гаджиалиев<sup>†</sup>

Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра Российской академии наук, 367003 Махачкала, Россия

(Получена 8 июля 2001 г. Принята к печати 27 августа 2001 г.)

Исследована термоэдс электронного антимонида индия в поперечном квантующем магнитном поле в области температур 67–160 К. Установлено, что зависимость электронной доли термоэдс от магнитного поля объясняется квантовой теорией, учитывающей спиновое расщепление уровней Ландау.

Термоэдс  $n$ -InSb и  $n$ -InAs в поперечном квантующем магнитном поле экспериментально исследована в ряде работ [1–5]. Показано, что в условиях орбитально-го квантования движения носителей тока ( $\Omega\tau \gg 1$ ,  $\hbar\Omega \gg kT$ ,  $\Omega = eH/m^*c$ ,  $e$  — заряд электрона,  $H$  — напряженность магнитного поля,  $m^*$  — эффективная масса носителей тока,  $\tau$  — время релаксации импульса электрона,  $c$  — скорость света,  $T$  — абсолютная температура,  $k$  — постоянная Больцмана) в поперечном магнитном поле растут как электронная, так и фононная составляющие термоэдс. Причем увеличение фононной доли представляет собой большую часть прироста.

Согласно квантовой теории термомагнитных эффектов [6], величина диффузионной (электронной) доли термоэдс в квантующем магнитном поле с учетом спинового расщепления уровней Ландау (СРУЛ) меньше значения термоэдс без учета спина.

Влияние СРУЛ на явления переноса можно ожидать, если в дополнение к указанным выше условиям выполняется неравенство  $g\mu_B H > kT$  (где  $g$  — фактор спектроскопического расщепления энергии электрона,  $\mu_B$  — магнетон Бора.)

В работах [7,8] подчеркивается, что по непонятной причине в эксперименте не обнаруживается влияние расщепления уровней Ландау на величину поперечной термоэдс. В работе [9] было показано, что для обнаружения влияния СРУЛ на термоэдс необходимо, во-первых, тщательно (с учетом взаимного расположения плоскости с потенциальными зондами и направления приложенного магнитного поля) измерить величину термоэдс в магнитном поле; во-вторых, проводить измерение в условиях отсутствия в измеряемой величине термоэдс доли, обязанной увлечению электронов фононами, т.е. когда нет составляющей термоэдс  $\alpha_{xx}^{ph}$ .

Если в эксперименте мы имеем дело с диффузионной термоэдс ( $\alpha_{xx}^e$ ) в чистом виде, то сравнив ее изменение в магнитном поле с теорией, учитывающей СРУЛ, можно достоверно судить о влиянии спина на диффузионную долю термоэдс. Исключить в эксперименте  $\alpha_{xx}^{ph}$  можно двумя способами: изменением концентрации до состояния вырождения системы носителей тока или подбором области температуры эксперимента, в которой отсут-

ствует электрон-фононное взаимодействие. Как показано в [4,5,8], в случае вырожденной электронной подсистемы фононное увлечение отсутствует, равно, как и в случае относительно высокой температуры эксперимента ( $T > 100$  К в случае InSb).

В работе [10] в поперечном магнитном поле измерена термоэдс на образцах  $n$ -InAs с высокой концентрацией электронов ( $n = 10^{16}$  см<sup>-3</sup>), в которых в результате сильного вырождения отсутствует фононное увлечение. Интерпретация результатов работы [10] на основе теории [6] показала, что величина термоэдс в магнитном поле согласуется с формулой, полученной с учетом СРУЛ.

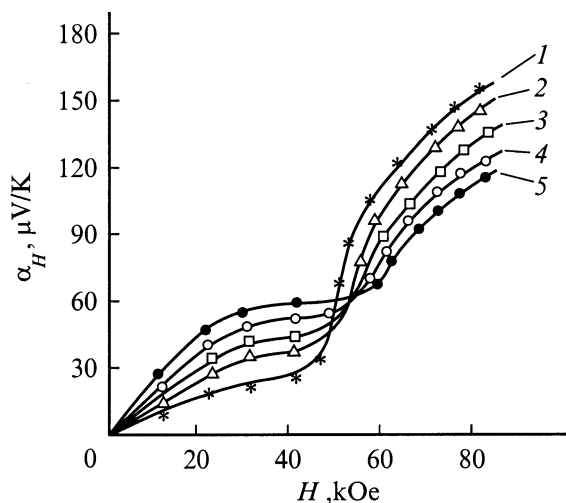
Следует отметить, что наиболее благоприятной для проверки влияния СРУЛ на термоэдс является ситуация, когда фононная составляющая термоэдс  $\alpha_{xx}^{ph}$  отсутствует вследствие пренебрежимо малого взаимодействия электронов с фононами независимо от концентрации электронов. В работе [11] был реализован случай отсутствия фононной доли термоэдс в измеренной в эксперименте термоэдс на  $n$ -InSb ( $n_{77} = 2 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>) в поперечном магнитном поле до 80 кЭ при  $T > 160$  К. Найдено, что изменение электронной доли термоэдс  $\alpha_{xx}^e$  с магнитным полем в области температур, где отсутствует эффект фононного увлечения, объясняется теорией, учитывающей СРУЛ.

В настоящей работе с целью исследования влияния СРУЛ на термоэдс в широкой области температур проведено измерение термоэдс электронного антимонида индия ( $n_{77} = 2 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup>) в поперечном магнитном поле до 80 кЭ при температурах 67, 83, 110, 120 и 160 К (рис. 1).

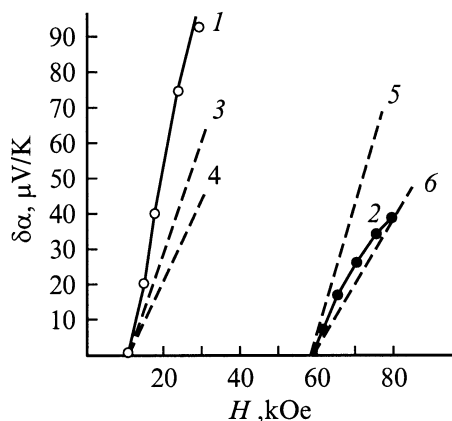
Как видно из рис. 1, при всех температурах термоэдс в начале растет, при выполнении условия сильного поля  $\Omega\tau \gg 1$  насыщается ( $\alpha_\infty$ ), далее при выполнении условия  $\hbar\Omega \gg kT$  снова резко увеличивается. Видно также, что порог квантового прироста термоэдс растет по шкале магнитного поля с повышением температуры, что понятно, если учесть, что выполнение условия  $\hbar\Omega \gg kT$  зависит от температуры.

На рис. 2 представлены результаты измерения квантового прироста термоэдс  $\delta\alpha_{xx}(H)$  при двух крайних температурах 67 и 160 К. При построении этих кривых за начало отсчета  $\delta\alpha_{xx}(H)$  взято значение термоэдс в классически сильном магнитном поле  $\alpha_\infty$  для данной тем-

<sup>†</sup> E-mail: Kamilov@datacom.ru



**Рис. 1.** Зависимость термоэдс  $n$ -InSb в поперечном магнитном поле при температурах  $T$ , К: 1 — 67, 2 — 83, 3 — 110, 4 — 120, 5 — 160.



**Рис. 2.** Квантовые надбавки  $\delta\alpha(H)$  к термоэдс насыщения  $\alpha_\infty$  при  $T = 67$  К (1, 3, 4) и 160 К (2, 5, 6). 1, 2 — эксперимент; 3, 5 — теория без учета спина; 4, 6 — теория с учетом спина.

пературы. Там же даны и значения квантового прироста электронной доли термоэдс  $\delta\alpha_{xx}^e(H)$ , рассчитанные для указанных выше температур без учета влияния СРУЛ

$$\delta\alpha_{xx}^e(H) = -\frac{k}{6e}v^2 \quad (1)$$

и с учетом влияния СРУЛ

$$\delta\alpha_{xx}^e(H) = -\frac{k}{e} \left[ \frac{1}{6} - \frac{1}{8} \left( \frac{m^*}{m_0} g \right)^2 \right] v^2, \quad (2)$$

где  $m_0$  — масса свободного электрона,  $v = \hbar\Omega/2kT$ .

Как видно из рис. 2, при  $T = 67$  К  $\alpha_{xx}^e(H)$  качественно согласуется с теорией, не учитывающей СРУЛ, в то время как при температуре 160 К  $\alpha_{xx}^e(H)$  количественно согласуется с теорией, учитывающей СРУЛ. Следовательно, с ростом температуры выше 100 К полностью

исчезает фонное увлечение и наблюдаемая величина  $\delta\alpha_{xx}^e(H)$  представляет собой чисто диффузионную термоэдс, поведение которой в магнитном поле объясняется теорией, учитывающей СРУЛ.

## Список литературы

- [1] Х.А. Амирханов, Р.И. Баширов, М.М. Гаджиалиев. ФТП, **3**, 3743 (1961).
- [2] И.В. Мочан, Ю.Н. Образцов, Т.В. Смирнова. ФТТ, **4**, 1021 (1962).
- [3] И.Л. Дричко, И.В. Мочан. ФТТ, **6**, 1902 (1964).
- [4] S.M. Puri, T.H. Geballe. Phys. Rev., **136**, 1767 (1964).
- [5] S.M. Puri. Phys. Rev., **139**, 995 (1965).
- [6] А.Н. Ансельм, Р.Г. Тарханян. ФТП, **6**, 3357 (1964).
- [7] И.М. Цидильковский. *Электроны и дырки в полупроводниках* (М., Наука, 1972).
- [8] Б.М. Аскеров. *Электронные явления в полупроводниках* (М., Наука, 1985).
- [9] М.М. Гаджиалиев. ФТП, **6**, 754 (1964).
- [10] М.М. Гаджиалиев. Изв. вузов. Физика, **4**, 104 (1997).
- [11] М.М. Гаджиалиев, В.Г. Бадюл. Изв. вузов. Физика, **2**, 97 (2000).

Редактор Т.А. Полянская

## The temperature dependence thermoelectric power of $n$ -InSb in a transverse quantizing magnetic field

M.M. Gadzhaliyev

Kh.I. Amirkhanov Institute of Physics,  
Russian Academy of Sciences,  
367003 Makachkala, Russia

**Abstract** The dependence of electron share of thermoelectric power on magnetic field is found to be in agreement with quantum theory under conditions of spin splitting of Landay levels.