

# Необычное поведение уровней Ландау в 20 нм HgTe квантовой яме

А.А. Добрецова<sup>1,2,\*</sup>, А.Д. Шепелянский<sup>3</sup>, З.Д. Квон<sup>1,2</sup>, С. Герон<sup>3</sup>, Н.Н. Михайлов<sup>1</sup>, С.А. Дворецкий<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики полупроводников СО РАН, ул. Пирогова, 30, Новосибирск, 630090.

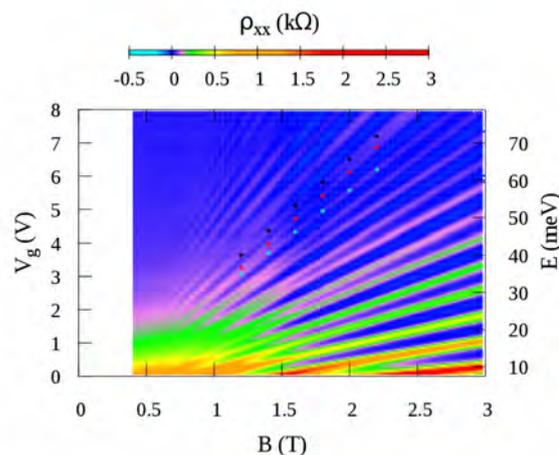
<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090.

<sup>3</sup>Laboratoire de physique des solides, Universite Paris-Sud, CNRS, UMR 8502, F-91405 Orsay, France

\*DobretsovaAA@gmail.com

Наряду с тем, что широкая (20-22нм) HgTe квантовая яма, как известно, является двумерным полуметаллом, в недавней работе [1] из исследования рассеяния электронов зоны проводимости на шероховатостях стенок ямы было получено косвенное свидетельство того, что электроны в данной яме с ростом энергии перестраиваются из "объемных", локализованных в центре ямы, в поверхностные, локализованные у верхней и нижней поверхностей - границах ямы. Вместе с тем, что расчет показывает, что данные состояния являются спин-поляризованными, данная яма представляется похожей на трехмерный топологический изолятор, у которого, однако, в качестве трехмерного кристалла выступает квантовая яма.

Данная работа посвящена исследованию осцилляции Шубникова-де Гааза электронов зоны проводимости указанных ям. Экспериментально было получено, что с приложением внешнего затворного напряжения однородные осцилляции Шубникова-де Гааза трансформируются в сумму осцилляций двух разных частот. Указанную трансформацию можно связать с возникновением поверхностных состояний и качественно описать в рамках классической электростатики. При нулевом затворном напряжении яма — симметричная, и, соответственно, концентрации электронов на обеих поверхностях ямы одинаковые. При приложении же конечного положительного затворного напряжения яма искривляется, и концентрация электронов на поверхности, расположенной ближе к затвору, становится больше, чем концентрация электронов на дальней поверхности. Из экспериментальных данных были извлечены концентрации электронов на двух поверхностях ямы в зависимости от затворного напряжения, полученные скорости заполнения поверхностей согласуются с оценкой, полученной из описанной картины классической электростатики. Помимо биений в осцилляциях Шубникова - де Гааза при приложении внешнего затворного напряжения было также обнаружено необычное поведение уровней Ландау с ростом магнитного поля (см. рис. 1). На рисунке изображена двумерная цветная карта продольного сопротивления от магнитного поля и затворного напряжения.



**Рис. 1.** Двумерная карта продольного сопротивления  $\rho_{xx}$  от магнитного поля  $B$  и затворного напряжения  $V_g$  (также представлена ось энергии, вычисленной по  $V_g$ ) для 22 нм нелегированной HgTe квантовой ямы. Точками выделен пример уровней Ландау с нетривиальным поведением при увеличении  $B$

Видно, что некоторые уровни Ландау (для наглядности было выделено три таких уровня голубыми, красными и черными точками), вырожденные при малом магнитном поле ("голубой" и "красный" уровни,  $B = 1.2T$ ), расходятся, как и следует ожидать, с увеличением магнитного поля, однако, что необычно, они не раздвигаются, также с другими соседними уровнями, а наоборот при больших полях сходятся с ними и в итоге вырождаются (красный и черный уровни при  $B = 2.4T$ ). Как показал расчет с помощью 6-зонной модели Кейна и квазиклассическое приближение, такое поведение связано с тем, что к состояниям зоны проводимости, изначально обладающей полным моментом  $3/2$ , с ростом энергии начинают примешиваться состояния следующей зоны размерного квантования, обладающей моментом  $1/2$ . Перемешивание приводит к изменению фазы Берри состояний с ростом энергии и, соответственно, к изменению энергии уровней Ландау, что и наблюдается в эксперименте.

## Литература

1. А.А. Добрецова, Л.С. Брагинский, М.В. Энтин, З.Д. Квон, Н.Н. Михайлов, С.А. Дворецкий // Письма в ЖЭТФ, **101**, 330 (2015).