

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Авдеева Ивана Дмитриевича

«Эффекты междолинного смешивания в наноструктурах из халькогенидов свинца»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика»

В диссертационной работе И.Д. Авдеева теоретически исследованы эффекты междолинного смешивания в наноструктурах из халькогенидов свинца. Нанокристаллы халькогенидов свинца, синтезированные методом коллоидной химии, представляют собой интересные объекты как с точки зрения их фундаментальных свойств, так и для применений в различных опто-электронных устройствах инфракрасного диапазона, фотовольтаики, биологии и медицине. Особенностью халькогенидов свинца является четырехдолинная структура экстремумов энергетических зон, а также сильные эффекты спин-орбитального взаимодействия. Эффекты междолинного смешивания, как и спин-орбитальные эффекты, очень чувствительны к микроскопической симметрии рассматриваемых структур, в том числе к форме и структуре поверхности. Хотя теоретические исследования энергетической структуры электронных и дырочных состояний в рамках **кр** метода эффективной массы проводились давно, эффекты междолинного смешивания, учет которых очень важен для описания экситонных состояний и анализа оптических свойств, практически не были рассмотрены ранее. Все вышесказанное подтверждает актуальность и своевременность исследований, выполненных в работе И.Д. Авдеева.

Важно подчеркнуть, что в работе И.А. Авдеева выполнен детальный симметричный анализ, проведен последовательный учет эффектов междолинного смешивания в наноструктурах различной формы в рамках эмпирического метода сильной связи, и, более того, **кр** метод эффективной массы расширен для учета многодолинных состояний. В результате, впервые в рамках метода эффективной массы построена аналитическая модель тонкой структуры экситонов в нанокристаллах из халькогенидов свинца с кубической симметрией, которая учитывает как внутри, так и междолинное взаимодействие электронов и дырок. При этом показано, что междолинное обменное взаимодействие играет ключевую роль при формировании яркого оптически активного триплета, доминирующего в спектрах поглощения, и приводит к большому Стоксову сдвигу фотolumинесценции. Я считаю этот вывод одним из наиболее значимых результатов работы. Не менее важным представляется продемонстрированная в численных расчетах методом сильной связи возможность учета

влияния поверхностных дефектов на наблюдаемые в магнито-оптических экспериментах значения  $g$ -факторов.

В качестве замечания хочу отметить, что из текста автореферата остается не понятным, влияют ли поверхностные дефекты на электронный и дырочный  $g$  фактора в долинах по отдельности или только на их вклады в изучаемый в эксперименте  $g$  фактор через изменение междолинного смешивания.

Данное замечание не является существенными и не снижает общей высокой оценки диссертационной работы.

В целом автореферат достаточно точно отражает содержание и структуру диссертации. Представленные в диссертации исследования выполнены на высоком научном уровне, результаты опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых журналах (*Phys. Rev. B*, *Small*, *Nano Lett.*, и др.), в том числе есть публикация в *Phys. Rev. B* без соавторов, представлены на семинарах, российских и международных конференциях.

Считаю, что диссертационная работа Авдеева Ивана Дмитриевича «эффекты междолинного смешивания в наноструктурах из халькогенидов свинца» удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемых к кандидатским диссертациям. Ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика».

доктор физико-математических наук, профессор РАН  
старший научный сотрудник  
лаб. Спиновых и оптических явлений в полупроводниках  
физико-технического института им. А.Ф. Иоффе,  
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26  
+7 921 6501352, [anna.rodina@mail.ioffe.ru](mailto:anna.rodina@mail.ioffe.ru)

Родина А.В.

8 декабря 2021 г.

Подпись Родиной А.В. заверяю,

Кандидат физико-математических наук,  
Ученый секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Патров М.И.