

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Коняхина Сергея Васильевича** “**Исследование оптических и колебательных свойств углеродных наноструктур**”, представленную на соискание учёной степени кандидата физико–математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния”.

В диссертации Коняхина С.В. с теоретической точки зрения исследуются различные аспекты физики углеродных наноструктур, ориентированные на усовершенствование таких методов их характеристики, как динамическое, статическое и комбинационное светорассеяние. Были изучены процесс и особенности графитизации поверхности детонационных наноалмазов и проявления графитоподобной фазы в оптических методах исследования. Также в диссертации затронуты важные транспортно-кинетические эффекты в графене, такие как увлечение электронов фононами и фотогальванический эффект при асимметричном рассеянии.

По объему и содержанию работа полностью отвечает требованиям к диссертации на соискание научной степени кандидата физико-математических наук. Автору присущ тщательный и добросовестный подход к оформлению результатов, выносимых на защиту. Диссертация продуманно и логично построена, состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Во **введении** обоснованы актуальность темы исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, продемонстрирована научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** диссертации с теоретической точки зрения изучаются спектры оптической плотности гидрозолей детонационных наноалмазов и проводится их сравнение с экспериментально полученными спектрами. В расчетах учитываются полученные методом динамического светорассеяния распределения частиц по размерам. Для расчетов рассеяния используется теория Ми. Делается заключение о том, что метод динамического

светорассеяния завышает долю агрегатов наноалмазов с размером около 50 нм, что видно по рассогласованию расчетных и экспериментальных спектров оптической плотности. В конце главы диссертант предлагает рецепт маркировки порошков и суспензий наноалмазов в рамках бимодальной модели.

Вторая глава диссертации посвящена спектрам комбинационного рассеяния в порошках детонационных наноалмазов. Диссертантом рассматривается применение модели фононного конфинмента, объясняющей асимметричное уширение и сдвиг рамановских пиков в спектрах наночастиц, для определения размеров наноалмазов. Выдвинута новая идея о вкладе конечного времени пробега фонона по нанокристаллиту в уширение пика. Модифицированная с учетом данной идеи модель воспроизводит экспериментальные спектры КРС лучше, чем оригинальная модель фононного конфинмента.

Третья глава диссертации посвящена симуляции броуновского движения алмазных наночастиц в воде при помощи метода полноатомной молекулярной динамики. Установлена нижняя граница соотношения Стокса-Эйнштейна, связывающего размер и коэффициент диффузии наночастицы, равная приблизительно 3 нм. Таким образом, для детонационных наноалмазов размером около 4 нм в метод динамического светорассеяния не вносится лишняя погрешность, связанная с нарушением соотношения Стокса-Эйнштейна.

В **четвертой главе** диссертант рассматривает различные колебательные и оптические свойства графена. Во-первых, рассматривается эффект увлечения электронов фононами и вычисляется его вклад в термоэдс в графене. Во-вторых, изучается асимметричное рассеяние в графене на дефектах треугольной формы. При итерационном решении кинетического уравнения Больцмана показывается, что такое асимметричное рассеяние приводит к эффекту храповика, который может проявиться в качестве фотогальванического эффекта и эффекта выпрямления тока.

Тема и содержание диссертации чрезвычайно **актуальны**, т.к. углеродные наноструктуры начинают активно применяться в технике и необходимо заложить прочную теоретическую базу для методов определения их свойств и создания электронных приборов на их основе. **Новизна** работы определяется тем, что автором усовершенствованы теоретические основы оптических методов характеристики детонационных наноалмазов, а также рассмотрением новых транспортно-кинетических эффектов в графене.

Научная значимость заключается в модификации модели фононного конфайнмента и рассмотрении новых транспортных эффектов в графене, на основе которых могут быть созданы термоэлектрический генератор и детектор терагерцового излучения. **Практическая значимость** работы определяется усовершенствованием методов интерпретации данных динамического светорассеяния и данных о спектрах оптической плотности гидрозолей детонационных наноалмазов для более точного определения размеров наноалмазных частиц.

Достоверность работы обусловлена как аккуратным и вдумчивым использованием существующих методов и приемов теорфизики, так и грамотным и обоснованным развитием собственных идей. Результаты прошли **апробацию** на более чем десяти выступлениях на конференциях, и **опубликованы** в 7 статьях в высокорейтинговых журналах. Автореферат отражает содержание и выводы диссертации.

Могу высказать следующие **замечания**:

1. Используемая в первой главе модель частицы с алмазным ядром и графитоподобной оболочкой подразумевает наличие сплошного графитового слоя на поверхности частицы. Однако, автор делает вывод о том, что детонационные наноалмазы покрыты лишь частично, и говорит об эффективной толщине графитоподобного слоя.

2. Усовершенствование автором модели фононного конфайнмента (2-я глава) приводит к появлению дополнительного свободного параметра.

3. В 4-й главе при анализе фотогальванического эффекта приведены величины фототока для мощности излучения $1 \text{ Вт}\cdot\text{см}^{-2}$, которая может привести к деградации образца.

4. При расчете фононной термоэдс в 4-й главе игнорируется влияние подложки, на которой расположен образец графенового листа. Это существенно снижает область применимости развитой теории фононной термоэдс в графене.

Замечания не умаляют научной и практической значимости диссертации, выполненной на высоком уровне. Ее результаты достоверны и надежно обоснованы.

Научные результаты диссертации могут быть использованы в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, Петербургском институте ядерной физики, Институте общей физики РАН, Институте химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, СПбГУ, Объединенном институте ядерных исследований, Физико-энергетическом институте, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, НИЦ "Курчатовский институт", Институте физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН.

Считаю, что диссертационная работа Коняхина Сергея Васильевича удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Профессор кафедры экспериментальной физики СПбГПУ Петра Великого, доктор физ-мат. наук

М.А. Зеликман