ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

INTERNATIONAL WORKSHOP

**«Multiscale Biomechanics and Tribology
of Inorganic and Organic Systems»**

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**«Перспективные материалы с иерархической структурой
для новых технологий и надежных конструкций»**

**VIII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ,
ПОСВЯЩЕННАЯ 50-ЛЕТИЮ ОСНОВАНИЯ
ИНСТИТУТА ХИМИИ НЕФТИ**

«Добыча, подготовка, транспорт нефти и газа»

DOI: 10.17223/9785946218412/264

ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ДВУХСЛОЙНЫХ ГРАФЕНОВ ВО ВНЕШНИХ ПОЛЯХ С НАРУШЕННОЙ СИММЕТРИЕЙ ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ

¹Мишук Б.Р., ²Решетняк А.А.

²Томский государственный педагогический университет, Томск

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск,

Представлены результаты теоретического исследования влияния различных представлений энергии основного состояния двухслойного графена (билэра) со щелью, зависящей от спиновой $s = \pm \hbar/2$ и долинной ξ переменных в Дираковских К ($\xi=1$) and К' ($\xi=-1$) точках в его квазичастичном спектре на продольную и Холловскую оптические проводимости как АА, так АВ-стекированных графенов на основе подхода температурной квантовой электродинамики в (2+1)-мерном пространстве-времени.

Точные аналитические выражения для оптических проводимостей $\sigma_{\pm}$ во внешних электрическом (со щелью 50-250 мэВ) и магнитном полях (3-10 Тл) выведены с помощью 4-зонного микроскопического гамильтониана, линейного по ковариантным производным (с потенциалом магнитного поля перпендикулярного листам графена)

$$H = \xi \begin{pmatrix} \Delta_{\xi s} & \gamma_3 v_F \pi / \gamma_0 & \gamma_4 v_F \pi^+ / \gamma_0 & v_F \pi^+ \\ \gamma_3 v_F \pi^+ / \gamma_0 & -\Delta_{\xi s} & v_F \pi & \gamma_4 v_F \pi / \gamma_0 \\ \gamma_4 v_F \pi / \gamma_0 & v_F \pi^+ & -\Delta_{\xi s} & \gamma_1 \\ v_F \pi & \gamma_4 v_F \pi^+ / \gamma_0 & \gamma_1 & \Delta_{\xi s} \end{pmatrix} \text{ for } \Delta_{\xi s} = U + \xi \Delta_T + s U_T + \xi s \Delta \quad (1)$$

дираковского типа (разного для АА и АВ-стекирований с учетом тригонального искажения спектра (γ_3). Полученные по формулам Кубо проводимости [4] уточняют результаты Л.Фальковского [3] для случая энергетической щели $\Delta_{\xi s}$ общего вида (1), включают зависимости от температуры, химического потенциала. Рассмотрены предельный случай постоянного тока и соотношения между $\sigma_{\pm}$ и углами Керра и Фарадея для композитных систем со слоями из “АВ(АА)-графенов”. Исследовано влияние примесей на величину проводимостей на основе точной функции Грина для 2-зонного гамильтониана АВ-графена. Результаты предсказывают ряд режимов для основных состояний с нарушенной глобальной симметрией относительно унитарной группы U(4) с их реализациями под управлением внешних полей, для использования в нано- и микроэлектронике на основе графеновых устройств.

В частности, мы представляем адаптированные к 4-зонной модели виды основных состояний при выборе той или иной формы щели [6, 7]: *квантовое долинное Холловское состояние* при $\Delta_{\xi s} = U$; *слоистое антиферромагнитное состояние* при $\Delta_{\xi s} = U_T$; *квантовое аномальное Холловское состояние* при $\Delta_{\xi s} = \Delta_T$; *квантовое спиновое Холловское состояние* при $\Delta_{\xi s} = \Delta$, с соответствующими параметрами порядка, составленными из квадратичных комбинаций компонент волновой функции для уравнения Шредингера с гамильтонианом (1). Эти параметры порядка характеризуются тем, что они или сохраняют симметрию относительно обращения времени для основного состояния, как для H (для второго и третьего состояний), или не сохраняют (для первого и последнего состояний). Мы анализируем качественно и количественно устойчивость каждого из состояний, а также их некоторые комбинации для смешанной формы щели, относительно внешних электрических и магнитных полей для выбора способов реализации цифровой формы передачи, хранения данных для запоминающих и передающих элементов на графене.

В случае упругого или неупругого нагруженного двуслойного графена параметры γ_i в гамильтониане модифицируются для учета отклика системы на механическое нагружение, в свою очередь влияющее на электрические проводимости двухслойного графена. Неупругое механическое воздействие учитывает появление дефектов Стоуна-Уэльса, а также дислокаций и их влияние на изменение электро- и теплопроводящих свойств АВ-графена на основе точной

Секция 4. Научные основы разработки материалов с многоуровневой иерархической структурой, в том числе для экстремальных условий эксплуатации

матричной функции Грина для квазичастицы (несовпадающей со скалярной электронной функции Грина в металлах).

1. Novoselov K.S., McCann E., Morozov S.V. et al, Unconventional quantum Hall effect and Berry's phase of 2π in bilayer graphene // Nature Physics. 2006. V.2. P.177-180.
2. McCann E. and Koshini M., The electronic properties of bilayer graphene // Reports on Progress in Physics. 2013. V.76. P. 056503.
3. Falkovsky L.A., Magneto-optics of monolayer and bilayer graphene // JETP Letters 2013. V.97. P. 429-438.
4. Gusynin V.P., Reshetnyak A.A., Sharapov S., Transport properties of AB stacked (Bernal) bilayer graphene on and without substrate within 2- and 4-band approximations // AIP Conf. Proc. 2015. V.1683. P. 020070.
5. Reshetnyak A.A., Mischuk B.R., Magnetooptic probes and transport properties of bilayer graphene with general gap energy within 4-band approximations (to be submitted in Phys.Rev.B).
6. Gorbar E.V., Gusynin V.P., Kuzmenko A.B., Sharapov S.G., Magneto-optical and optical probes of gapped ground states of bilayer graphene // Phys.Rev. B, 2012. V. 86. P. 075414.
7. Jia J., Pyatkovskiy P.K., Gorbar E.V., Gusynin V. P., Broken symmetry states in bilayer graphene in electric and in-plane magnetic fields // Phys. Rev. B 2017. V. 95. P. 045410.