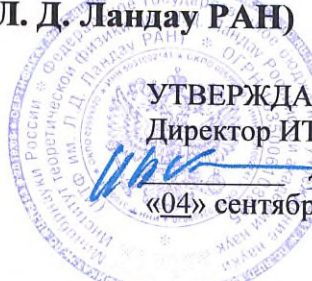


**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ им. Л. Д. Ландау
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН)**

ПРИНЯТО
Ученым советом
ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
(протокол от «04» сентября 2026г. № 22)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН
д.ф.-м.н., И. В. Колоколов
«04» сентября 2026г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ К2.1В.ДВ2.3
«Фотогальванические эффекты в полупроводниках и двумерных
структурах»**

По научной специальности: 1.3.3. Теоретическая физика

Уровень образования: Высшее образование - Подготовка кадров высшей
квалификации

Форма обучения – очная

Черноголовка 2026

Рабочая программа дисциплины по выбору «Фотогальванические эффекты в полупроводниках и двумерных структурах» (К2.1В.ДВ2.3) для Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика составлена в соответствии с требованиями следующих нормативных документов:

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 года № 273-ФЗ "Об образовании в Российской Федерации" с изменениями на 04.18.2026 г.
2. Федеральные государственные требования (ФГТ) к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утверждённые Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951 с изменениями на 03.06.2025 г.
3. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.02.2021 № 118 "Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093" с изменениями на 24.07.2023 г.
4. Письмо ВАК от 13.05.2021 № 382-02 ВАК о Применении новой номенклатуры НС
5. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 03.06.2021 № 561 «О советах по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание учёной степени докторов наук»
6. Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24.08.2021 № 786 "Об установлении соответствия направлений подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)

научным специальностям, предусмотренным номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 24 февраля 2021 г. № 118"

7. Программа-минимум кандидатских экзаменов по специальности Теоретическая физика и с учетом особенностей сложившейся в ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН научной школы

8. Паспорт научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика, разработанный экспертами ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Академии Наук.

9. Программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН

Автор/составитель РП по дисциплине:

д.ф.-м.н., с.н.с.

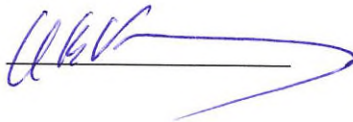
_____ М.В. Дурнев

«01» сентября 2026 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

СОГЛАСОВАНО

Директор ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН,
д.ф.-м.н., И. В. Колоколов
«04» сентября 2026г.



СОГЛАСОВАНО

Зам. директора ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН,
д.ф.-м.н., И. С. Бурмистров
«04» сентября 2026г.



СОГЛАСОВАНО

Зам. директора ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН,
д.ф.-м.н., Я. В. Фоминов
«04» сентября 2026г.



1. Паспорт научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика

Область науки:

1. Естественные науки

Группа научных специальностей:

1.3. Физические науки

Наименование отрасли науки, по которой присуждаются ученые степени:

физико-математические науки

Шифр научной специальности:

1.3.3. Теоретическая физика

Направления исследований:

1. Теория фундаментальных взаимодействий и квантовая теория поля. Изучение явлений на малых масштабах и при больших энергиях. Разработка математических методов теории поля. Объединенные модели фундаментальных взаимодействий. Супергравитация и теория суперструн, модели с дополнительными измерениями, AdS/CFT соответствие, голографические модели.
2. Физические свойства материи и пространства-времени во Вселенной. Классическая и квантовая космология и гравитация. Свойства вакуума, темная энергия. Общая теория относительности и ее расширения.
3. Релятивистская астрофизика.
4. Стандартная модель фундаментальных взаимодействий элементарных частиц и ее расширения, обусловленные проблемой темной материи, физикой нейтрино и другими феноменологическими проблемами.
5. Теория конденсированного состояния классических и квантовых, макроскопических и микроскопических систем. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика, квантовая и классическая кинетическая теория.

6. Общие вопросы квантовой механики: основы, теория измерений, общая теория рассеяния. Квантовая теория физических явлений в ядрах, атомах и молекулах.
7. Разработка методов описания адронного вещества и кварк-глюонной плазмы в приложении к процессам в столкновениях ядер, в компактных астрофизических объектах, в ранней Вселенной и в других системах.
8. Симуляции процессов на решетке.
9. Разработка теории мезоскопических систем. Квантовая информатика, квантовые компьютеры, физические модели когнитивных процессов.
10. Развитие теории и исследования общих свойств и закономерностей неравновесных систем. Разработка теории хаоса и турбулентности.

Смежные специальности (в рамках группы научной специальности)¹:

- 1.3.1. – Физика космоса, астрономия
- 1.3.15.– Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий
- 1.3.8. – Физика конденсированного состояния
- 1.3.16. Атомная и молекулярная физика
- 1.1.2. – Дифференциальные уравнения и математическая физика
- 1.3.10 – Физика низких температур
- 1.3.11 – Физика полупроводников
- 1.3.12 – Физика магнитных явлений

¹Для рекомендации научных специальностей в создаваемых диссертационных советах

2. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью изучения настоящей дисциплины является подготовка квалифицированных научных кадров в области теоретической физики, способных вести научно-исследовательскую работу, самостоятельно ставить и решать актуальные научные и практические задачи.

Задачи дисциплины включают формирование у аспирантов системы знаний и основных понятий о фотогальванических эффектах в полупроводниках и двумерных структурах, а также развитие способности к научно-исследовательской работе и выработку потребности к самостоятельному приобретению знаний по теоретической физике.

3. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

Дисциплина «Фотогальванические эффекты в полупроводниках и двумерных структурах» (К2.1В.ДВ2.3) относится к элективным дисциплинам К2.1.В.ДВ.2 вариативной части Компонента 2 «Образовательный компонент» Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

В рамках дисциплины рассматриваются основные физические механизмы возникновения направленных электрических токов под действием высокочастотного электромагнитного поля в трёхмерных полупроводниках, двумерных полупроводниковых структурах и топологических изоляторах. Будут обсуждаться различные типы фотогальванических эффектов в спектральных диапазонах, соответствующих как межзонным оптическим переходам, так и внутризонному транспорту носителей заряда. Особое внимание будет уделено роли поляризации падающего излучения, механизмов рассеяния, спин-орбитального взаимодействия и внешнего магнитного поля в формировании фотоотклика.

Разбираются как феноменологические методы описания, основанные на симметрии, так и микроскопические подходы к расчёту фототоков, а также современные экспериментальные проявления фотогальванических эффектов.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

<i>Общепрофессиональные компетенции:</i>	
ОПК-1	способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области теоретической физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий
<i>Универсальные компетенции:</i>	
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-А	способностью самостоятельно выделять различные физические механизмы в физическом феномене, подбирать адекватные модели для описания этих механизмов (в соответствии с профилем подготовки
ПК-В	способностью применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов теоретической физики, в том числе микроскопическое и феноменологическое описание, теорию возмущений и

	диаграммный методы (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Г	способность применять различные математические методы, такие как ТФКП, решение дифференциальных уравнений, применение теории групп, диаграммная техника, при исследовании математических уравнений
ПК-Д	готовность сотрудничать с экспериментальными группами по планированию физических экспериментов и анализу полученных экспериментальных данных, способностью выделять в экспериментальной ситуации отдельные физические феномены и составлять адекватную математическую модель, описывающую эти феномены (в соответствии с профилем подготовки)
ПК-Е	готовность к дальнейшему самообразованию и расширению компетенции, способностью локализовать общие принципы теоретической физики для нового физического феномена (в соответствии с профилем подготовки)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

Знать:

- основные физические механизмы возникновения фотогальванических токов в полупроводниках и двумерных структурах;
- симметричные условия существования линейного и циркулярного фотогальванических эффектов;
- кинетические и феноменологические подходы к описанию высокочастотного нелинейного транспорта;
- особенности фотогальванических эффектов в графене;
- механизмы линейного фотогальванического эффекта и механизмы возникновения фототока в топологических изоляторах.

Уметь:

- использовать методы физики конденсированного состояния для решения фундаментальных и прикладных задач;
- анализировать данные эксперимента и сопоставлять теоретические предсказания и экспериментальные результаты;
- делать качественные выводы при анализе асимптотических режимов в изучаемых проблемах;
- осваивать новые предметные области и теоретические модели;
- пользоваться адекватным математическим аппаратом при решении практических задач;
- конструировать физические подходы, способные описывать физические явления.

Владеть:

- навыками построения минимальных моделей, описывающих интересующие аспекты изучаемого физического явления;
- методами феноменологического и микроскопического описания фотогальванических эффектов;

4. Объем дисциплины, виды учебной работы и форма отчетности

<i>Вид учебной работы</i>	<i>Часов</i>	<i>ЗЕТ</i>
Общая трудоёмкость дисциплины	36	1
Аудиторные занятия: лекции	12	0.3
Самостоятельная работа	21	0.6
Контроль	3	0.1

Форма отчетности: **зачёт с оценкой**

5. Содержание и структура дисциплины

5.1 Учебный план по дисциплине

<i>№</i>	<i>Название тем</i>	<i>Всего</i>
1	Фотогальванические эффекты: введение	4
2	Нелинейный высокочастотный транспорт в двумерных системах.	4
3	Линейный фотогальванический эффект. Фотогальванические эффекты в топологических изоляторах.	4
Итого часов		12

Самостоятельная работа заключается в разборе задач и упражнений по курсу.

5.2 Содержание лекционного курса

Тема 1. Фотогальванические эффекты: введение.

Феноменологическое описание и симметричный анализ. Циркулярный и линейный фотогальванические эффекты. Эффект фотонного увлечения. Микроскопический механизм циркулярного эффекта увлечения в квантовых ямах.

Тема 2. Нелинейный высокочастотный транспорт в двумерных системах.

Кинетическое уравнение Больцмана. Отклик первого и второго порядка в рамках кинетического уравнения. Влияние магнитного поля. Эффект фотонного увлечения в графене. Краевой фотогальванический эффект.

Тема 3. Линейный фотогальванический эффект. Фотогальванические эффекты в топологических изоляторах.

Баллистический и сдвиговый механизмы линейного фотогальванического эффекта. Спиновые и долинные фототоки в двумерных кристаллах. Механизмы возникновения фототока в краевых каналах двумерных топологических изоляторов.

Пример задачи к курсу:

Рассчитать ток фотонного увлечения для двумерного электронного газа в графене. Проанализировать поляризационную зависимость фототока.

**6. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины
(основная литературы)**

1. Ivchenko E. L. Optical Spectroscopy of Semiconductor Nanostructures. Harrow, UK: Alpha Science, 2005.
2. Стурман Б. И., Фридкин В. М. Фотогальванический эффект в средах без центра симметрии и родственные явления. М.: Наука, 1992.
3. Glazov M. M., Ganichev S. D. High-frequency electric field induced nonlinear effects in graphene. Physics Reports, 2014, 535, 101.
4. Durnev M. V., Tarasenko S. A. High-frequency nonlinear transport and photogalvanic effects in 2D topological insulators. Annalen der Physik, 2019, 531, 1800418.

7. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН;
- ноутбук, мультимедийный проектор, экран;

- рабочее место с выходом в Интернет;
- библиотечный фонд ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН
- библиотечные фонды БЕН РАН и НЭБ (по договору ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН)

9. Обеспечение электронной информационно-образовательной средой для освоения дисциплины в полном объёме независимо от места нахождения обучающегося (при необходимости)

- электронные информационные и образовательные ресурсы ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН - ЭИС ИТФ им. Л. Д. Ландау РАН