



Лабораторный спецпрактикум
«Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование
процессов физической кинетики»

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 20 Прикладная физика
Профилизация: Функциональные наноматериалы

2020 г

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 20-2019 и учебного плана № G31-024/уч. от 11.04.2019 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Колесов Е.А. – старший преподаватель кафедры энергофизики Белорусского государственного университета,

Ларькин А.В. – старший преподаватель кафедры энергофизики Белорусского государственного университета,

Мазаник А.В. – заведующий кафедрой энергофизики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

ШЕПЕЛЕВИЧ В.Г. – профессор кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор;

ХОРОШКО В.В. – заведующий кафедрой проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой энергофизики Белорусского государственного университета (протокол № 3 от 29 октября 2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 07.12.2020)

Заведующий кафедрой энергофизики



А.В.Мазаник

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование процессов физической кинетики» разработана для специальности 1-31 80 20 Прикладная физика, профилизация Функциональные наноматериалы (вторая ступень получения высшего образования).

Знание физических основ процессов переноса является необходимым условием подготовки высококвалифицированного специалиста-физика. В рамках данной учебной дисциплины изучаются физические идеи, лежащие в основе экспериментального исследования процессов переноса вещества и энергии. Особое внимание уделяется рассмотрению бесконтактных методов исследования. На конкретных примерах рассматривается применение изученных закономерностей для решения практических задач.

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины: сформировать у обучающихся знание основных закономерностей переноса вещества и энергии в твердых, жидких и газообразных средах для создания и модификации функциональных материалов, развить навыки моделирования соответствующих процессов с помощью современных программных средств.

Задачи учебной дисциплины:

1. Сформировать у обучающихся навыки экспериментального исследования процессов переноса вещества и энергии.
2. Продемонстрировать возможности и преимущества бесконтактных методов исследования процессов переноса вещества и энергии.
3. Развить у обучающихся навыки моделирования процессов переноса.
4. Развить у обучающихся навыки представления полученных результатов в виде отчетов, представленных в структурированной и наглядной форме с логически обоснованным и последовательным изложением материала.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к модулю «Технологии наноматериалов» компонента учреждения высшего образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: для выполнения Лабораторного спецпрактикума необходимо знание обучающимися курсов общей и теоретической физики. Материал настоящей учебной дисциплины основан также на знаниях и представлениях, заложенных при изучении учебных дисциплин «Прикладные задачи в термодинамике и статистической физике» и «Методы математического моделирования физических процессов».

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование процессов физической кинетики» должно обеспечить формирование следующих **специализированных** компетенций:

СК – 11. Быть способным к анализу технологических процессов создания нано- и функциональных материалов, к разработке новых технологий синтеза наноматериалов на основе знаний фундаментальных физико-химических принципов

СК–12. Быть способным использовать основные закономерности переноса вещества и энергии в жидких и газообразных средах для создания и модификации функциональных материалов, моделировать соответствующие процессы с помощью современных программных средств.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 4 семестре дневной формы получения высшего образования. Всего на изучение учебной дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование процессов физической кинетики» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 198 часов, в том числе 72 аудиторных часов, из них: лабораторные занятия – 72 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Форма текущей аттестации – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1 Процессы переноса в жидкостях

Тема 1.1 Определение коэффициента диффузии жидкостей теневым методом.

Тема 1.2 Определение вязкости жидкостей.

Раздел 2 Диффузия в твердых телах

Тема 2.1 Расчет глубины p-n-перехода, формируемого методом диффузии.

Тема 2.2 Определение коэффициента диффузии примеси в твердом теле из данных масс-спектропии вторичных ионов.

Раздел 3 Перенос заряда в гетерогенных средах

Тема 3.1 Механизмы электропроводности гетерогенных сред. Исследование гетерогенных сред методом импеданс-спектропии.

Раздел 4 Совместный транспорт электронов и фононов

Тема 4.1 Термоэлектрическое преобразование. Расчет термоэлектрической добротности по результатам определения коэффициента теплопроводности, коэффициента Зеебека и удельного сопротивления.

Тема 4.2 Исследование термоэлектрических материалов методом Хармана.

Раздел 5 Контактные методы определения теплофизических характеристик

Тема 5.1 Определение коэффициента теплопроводности в стационарном режиме.

Тема 5.2 Определение коэффициента температуропроводности в регулярном режиме.

Тема 5.3 Тепловые процессы в помещениях.

Раздел 6 Бесконтактные методы определения теплофизических характеристик

Тема 6.1 Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод исследования фононных свойств твердых тел.

Тема 6.2 Фононный транспорт в графене.

Тема 6.3 Определение коэффициента теплопроводности методом спектроскопии комбинационного рассеяния света.

Тема 6.4 Определение коэффициента температуропроводности методом динамических дифракционных решеток.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	10
1	Процессы переноса в жидкостях				10			
1.1	Определение коэффициента диффузии жидкостей теневым методом				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
1.2	Определение вязкости жидкостей				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
2	Диффузия в твердых телах				12			
2.1	Расчет глубины р-п-перехода, формируемого методом диффузии				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
2.2	Определение коэффициента диффузии примеси в твердом теле из данных масс-спектропии вторичных ионов				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
3	Перенос заряда в гетерогенных средах				8			

3.1	Механизмы электропроводности гетерогенных сред. Исследование гетерогенных сред методом импеданс-спектроскопии				8			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
4	Совместный транспорт электронов и фононов				12			
4.1	Термоэлектрическое преобразование. Расчет термоэлектрической добротности по результатам определения коэффициента теплопроводности, коэффициента Зеебека и удельного сопротивления				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
4.2	Исследование термоэлектрических материалов методом Хармана				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
5	Контактные методы определения теплофизических характеристик				14			
5.1	Определение коэффициента теплопроводности в стационарном режиме				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
5.2	Определение коэффициента температуропроводности в регулярном режиме				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
5.3	Тепловые процессы в помещениях				6			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
6	Бесконтактные методы определения теплофизических характеристик				16			
6.1	Спектроскопия комбинационного рассеяния света как метод исследования фононных свойств твердых тел				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
6.2	Фононный транспорт в графене				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе

6.3	Определение коэффициента теплопроводности методом спектроскопии комбинационного рассеяния света				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
6.4	Определение коэффициента температуропроводности методом динамических дифракционных решеток				4			Устный опрос, отчет по лабораторной работе
Итого					72			

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Поклонский, Н.А. Емкость и электропроводность полупроводниковых структур на переменном токе / Н.А. Поклонский, Н.И. Горбачук, Т.М. Лапчук. – Мн. Изд.-во БГУ, 1997.
2. Дмитриев, А.В. Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов / А.В. Дмитриев, И.П. Звягин // УФН. – 2010. – Т. 180, №8. – С. 821-838.
3. Лабораторный практикум по процессам тепло- и массопереноса / Н.А. Карбалевич, Г.М. Волохов, А.В. Мазаник, А.К. Федотов. – Минск: БГУ, 2014. – 159 с.
4. Поклонский Н.А., Горбачук Н.И. Основы импедансной спектроскопии композитов: курс лекций. – Мн.: БГУ, 2005. – 130 с.
5. Милославский, В.К. спектроскопия твердого тела / В.К. Милославский, Л.А. Агеев. – Харьков: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2013. – 276 с.
6. Структурные свойства графена на медных подложках / Е.А. Колесов, А.Д. Пашинский, М.С. Тиванов, О.В. Королик, О.О. Капитанова, Г.Н. Панин // Журнал БГУ. Физика. – 2019. – № 2. – С. 58–65.

Перечень дополнительной литературы

1. Jorio, A. Raman spectroscopy in graphene related systems / A. Jorio, Riichiro Saito, G. Dresselhaus, M.S. Dresselhaus. - 2011. - WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. - 354 P.
2. Ferrari, A.C. Raman spectroscopy as a versatile tool for studying the properties of graphene / A.C. Ferrari, D.M. Basko // Nat. Nanotech. – 2013. – Vol. 8. – P. 235–246.
3. Beams, R. Raman characterization of defects and dopants in graphene / R. Beams, L. G. Cançado, L. Novotny // J. Phys. Cond. Matt. – 2015. – Vol. 27. – P. 083002.
4. Phonon anharmonicities in supported graphene / E.A. Kolesov, M.S. Tivanov, O.V. Korolik, O.O. Kapitanova, Hak Dong Cho, Tae Won Kang, G.N. Panin // Carbon. – 2019. – Vol. 141. – P. 190–197.
5. The effect of atmospheric doping on pressure-dependent Raman scattering in supported graphene / E.A. Kolesov, M.S. Tivanov, O.V. Korolik, O.O. Kapitanova, Xiao Fu, Hak Dong Cho, Tae Won Kang, G.N. Panin // Beilstein Journal of Nanotechnology. – 2018. – Vol. 9. – P. 704–710.
6. Емельянова, Ю.В. Импедансная спектроскопия: теория и применение. Учебное пособие / Ю.В. Емельянова, М.В. Морозова, З.А. Михайловская, Е.С. Буянова. – Екатеринбург: УрФУ, 2017. – 156 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине **Лабораторный спецпрактикум «Экспериментальное исследование и компьютерное моделирование процессов физической кинетики»** учебным планом предусмотрен зачет.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы, обсуждение результатов, выполнение работы над ошибками. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

По итогам выполнения лабораторной работы учащиеся оформляют отчет, содержащий название работы, фамилии выполнивших, краткое изложение теории, поясняющей физическую сущность изучаемого эффекта, методику эксперимента, экспериментальные результаты и их обсуждение. На основании экспериментальных данных, графических зависимостей, а также численных значений рассчитанных величин, указанных в задании, отмечаются основные закономерности, анализируются физические явления, лежащие в их основе, и делаются выводы.

Итоговая оценка состоит из оценки предоставленного отчета и устного опроса по теории изучаемого эффекта.

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используются:

– **практико-ориентированный подход**, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач, приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности.

– **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы учащимся рекомендуется использовать методические указания к лабораторным занятиям, вопросы для подготовки к зачету, список рекомендуемой литературы. Также для успешного выполнения лабораторных работ рекомендуется получение информации с использованием информационных ресурсов: учебно-методических материалов, размещенных на образовательном портале eduphys.bsu.by, а также в сети интернет.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Предложите и обоснуйте возможные схемы эксперимента по определению вязкости жидкости, укажите их достоинства и недостатки, а также источники погрешности.
2. Назовите известные Вам механизмы атомной диффузии в твердых телах.
3. Назовите известные Вам методы определения коэффициента диффузии в твердых телах.
4. Что такое импеданс-спектроскопия? Каковы преимущества и недостатки данного метода анализа?
5. Назовите известные Вам механизмы переноса тепла в твердых телах.
6. Каков принцип работы термоэлектрического преобразователя на основе эффекта Зеебека? Что такое термоэлектрическая добротность? Каковы методы повышения термоэлектрической добротности термоэлектрических материалов? Какова особенность исследования термоэлектрических материалов методом Хармана?
7. Исходя из закона Фурье, обоснуйте уравнение теплопроводности.
8. Дайте сравнительную оценку методов определения теплофизических характеристик.
9. Как происходит процесс комбинационного рассеяния света в твердом теле? Чем отличаются механизмы рассеяния в трехмерных и двумерных материалах?
10. Какая информация о фоновых свойствах кристаллов может быть извлечена из спектров комбинационного рассеяния света?
11. Каковы физические основы определения коэффициента температуропроводности методом динамических дифракционных решеток?
12. Каковы механизмы влияния числа слоёв двумерного материала, механических напряжений и дефектов в его кристаллической решётке, а также его легирования на параметры линий спектров комбинационного рассеяния света?

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № 10 от 25 июня 2020 г.)

Заведующий кафедрой

_____ А.В.Мазаник

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

_____ М.С.Тиванов