

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра Высшей математики и физики

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра электроники твердого тела

Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.1.ДВ.02.02 Специальная лаборатория по водородопроницаемости
материалов**

Основная профессиональная образовательная программа
высшего образования по направлению подготовки
(сете́вая форма реализации)

03.04.01 Прикладные математика и физика
Направленность (профиль)
«Физические исследования инновационных материалов»

Уровень
Магистратура

Форма обучения
Очная

Согласовано
Руководитель ОПОП
Бобкова Т.И.

Дьяченко Н.В.

Утверждаю
Проректор по учебной работе
Всещагина Н.О.

Рекомендована решением
Ученого совета института Информационных
систем и геотехнологий
28.09.2022, протокол №10

Рассмотрена и утверждена на заседании кафедры
08.09.2022, протокол №2

Зав. кафедрой высшей математики и физики
Зайцева И.В.

Авторы-разработчики:
к.ф.-м.н., Денисов Е.А. (СПбГУ)
д.т.н., Дьяченко Н.В. (РГГМУ)

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2024/2025 учебный год без изменений*

Протокол заседания кафедры Высшей математики и физики от 30.08.2024 №1

Рассмотрено и рекомендовано к использованию в учебном процессе на 2025/2026 учебный год без изменений*

Протокол заседания кафедры Высшей математики и физики от 27.08.2025 №1

* Заполняется при ежегодном пересмотре программы, если в неё не внесены изменения

1. Цель и задачи дисциплины

Цель дисциплины – сформировать профессиональную компетентность, а также необходимый объем фундаментальных и прикладных знаний, умений и навыков экспериментальной работы со специальным оборудованием, предназначенным для изучения проникновения водорода через мембраны.

Задачи:

1. Сформировать знание:

- основные методы определения водородопроницаемости;
- устройство и принципы функционирования современных вакуумных установок для изучения;
- цели и задачи отдельного этапа исследования.

2. Сформировать умение:

- работать с исследовательским и испытательным оборудованием, вакуумными приборами и установками;
- грамотно интерпретировать полученные результаты, уметь обоснованно оценить погрешность полученных результатов.

3. Сформировать владение:

- навыками работы с системами вакуумной откачки, масс-спектрометрами различных видов, монтажа вакуумной арматуры;
- навыками построения плана проведения измерений по каждому этапу.

2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина относится к элективной дисциплине части, формируемой участниками образовательных отношений, изучается в 3 семестре.

Базовыми для изучения дисциплины являются: «Физические процессы в твердых телах», «Современные проблемы физики», «Компьютерное моделирование в твердых телах», «Материаловедение».

Изучается параллельно в 3 семестре с такими дисциплинами как: «Физические процессы в твердых телах», «Структура кристаллических и неупорядоченных систем».

3. Перечень планируемых результатов обучения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций: ПК-2, ПК-4.

Таблица 1. Компетенции

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения универсальной компетенции	Результаты обучения
ПК-2. Способен осваивать классические и современные методы исследования веществ	ПК-2.1. Выбирает оптимальные методы и технические средства, готовит оборудование, работает на экспериментальных физических установках.	Знать: - основные методы определения водородопроницаемости; - устройство и принципы функционирования современных вакуумных установок для изучения водородопроницаемости. Уметь: - работать с исследовательским и испытательным оборудованием, вакуумными приборами и установками; - грамотно интерпретировать полученные результаты, уметь обоснованно оценить погрешность полученных результатов. Владеть: - навыками работы с системами вакуумной откачки, масс-спектрометрами различных видов, монтажа вакуумной арматуры.
ПК-4 Способен к разработке проекта плана проведения отдельных этапов исследования	ПК-4.1 Проводит анализ получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники.	Знать: - цели и задачи отдельного этапа исследования Уметь: - выделять последовательность этапов работы Владеть: - навыками построения плана проведения измерений по каждому этапу

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 академических часов.

Таблица 2. Объем практики по видам учебных занятий в академических часах

Объём дисциплины	Очная форма обучения	
	Семестр	Итого
	3 семестр	
Зачётные единицы	3	3

Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам аудиторных учебных занятий) – всего:	30	30
в том числе:	30	30
– лекции:	-	-
– занятия семинарского типа:	30	30
практические занятия	-	-
лабораторные занятия	30	30
– консультации	-	-
Самостоятельная работа (далее – СРС) – всего:	76,84	76,84
в том числе:	-	-
– курсовая работа	-	-
– контрольная работа	-	-
Контроль:		
Текущий контроль успеваемости (ТКУ)	1	1
Промежуточная аттестация	0,16	0,16
ВСЕГО ЧАСОВ:	108	108
Вид промежуточной аттестации	Зачет оценкой	с

4.2. Структура тем дисциплины

Таблица 3. Структура дисциплины для очной формы обучения

№	Тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Лабораторная работа	СРС			
1	Тема 1. Введение. Теоретические основы водородопроницаемости	3		6	25	Устный опрос. Выполнение лабораторной работы №1,2	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1 ПК-4.1
2	Тема 2. Структура вакуумных установок, применяемых для исследования водородопроницаемости	3		6	26	Устный опрос. Выполнение лабораторной работы №3,4	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1 ПК-4.1
	Текущий				1	Тест в Moodle	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1

№	Тема дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, в т.ч. самостоятельная работа студентов, час.			Формы текущего контроля	Формируемые компетенции	Индикаторы достижения компетенций
			Лекции	Лабораторная работа	СРС			
	контроль успеваемости (ТКУ)							ПК-4.1
3	Тема 3. Подготовка образцов и оборудования	3		8	25,84	Устный опрос. Выполнение лабораторной работы №5,6	ПК-2, ПК-4	ПК-2.1 ПК-4.1
	ИТОГО	3		30	76,84			

4.3. Содержание тем дисциплины

Таблица 4. Содержание тем дисциплины

№	Наименование тем	Содержание	Компетенция
1	Тема 1. Введение. Теоретические основы водородопроницаемости	Понятие водородопроницаемости. Методы экспериментального исследования. Практическое применение. Физические процессы, влияющие на процесс проникновения водорода через металлы и полупроводники. Уравнения, описывающие отдельные стадии. Многослойные мембраны	ПК-2 ПК-4
2	Тема 2. Структура вакуумных установок, применяемых для исследования водородопроницаемости	Мембранные камеры. Особенности входной и выходной частей. Подача газа на входную сторону. Откачка или накопление газа на выходной стороне. Методы контроля и регулировки температуры. Методы контроля и регулировки давления. Атомизация и ионизация водорода. Методы измерения проникающего потока.	ПК-2 ПК-4
3	Тема 3. Подготовка образцов и оборудования	Методы изготовления мембран и мембранных ячеек. Методы нанесения покрытий. Методы очистки поверхности мембран. Расчет параметров и изготовление атомизаторов. Расчет параметров и создание газового разряда	ПК-2 ПК-4

№	Наименование тем	Содержание	Компетенция
		для ионной бомбардировки мембран. Монтаж мембранной ячейки в экспериментальную установку.	

4.4. Лабораторные занятия и их содержание

Таблица 5. Содержание лабораторных занятий для очной формы обучения

№ темы	Тематика лабораторных занятий	Всего часов	Формируемые компетенции
Исследование проницаемости мембраны в стационарном режиме			
1	Лабораторная работа №1 Определение квазиравновесной проницаемости и коэффициента прилипания водорода на металлической мембране методом изотерм	4	ПК-2 ПК-4
	Лабораторная работа №2 Определение энергии активации и предэкспоненты проницаемости на металлической мембране методом изобар проницаемости	6	ПК-2 ПК-4
Исследование проницаемости мембраны методом прорыва			
2	Лабораторная работа №3 Определение температурной зависимости коэффициента диффузии в металлической мембране методом спрямления кривой прорыва в функциональном масштабе	4	ПК-2 ПК-4
	Лабораторная работа №4 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов путем решения обратной задачи диффузии в мембране с модифицированной поверхностью, применительно к методу прорыва	6	ПК-2 ПК-4
Исследование проницаемости методом концентрационных импульсов			
3	Лабораторная работа №5 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием атомизатора водорода	4	ПК-2 ПК-4
	Лабораторная работа №6 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием тлеющего разряда для пассивных поверхностей металла	6	ПК-2 ПК-4
	ВСЕГО	30	

5. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Электронный учебный курс «Специальная лаборатория по водонепроницаемости» в системе Moodle [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moodle.rshu.ru/course/view.php?id=3965>

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Учет успеваемости обучающегося по дисциплине осуществляется по 100-балльной шкале.

Таблица 6. Учет успеваемости обучающегося по дисциплине

Учет успеваемости	Количество баллов
Максимальное количество баллов по дисциплине за один семестр:	100
- максимальное количество баллов за выполнение всех видов текущего контроля	100
- максимальное количество баллов за прохождение промежуточной аттестации	30

6.1. Текущий контроль

Типовые задания, методика выполнения и критерии оценивания текущего контроля по разделам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

6.2. Промежуточная аттестация

Перечень вопросов и критерии оценивания ответов на вопросы в билете по темам дисциплины представлены в Фонде оценочных средств по данной дисциплине.

Форма промежуточной аттестации по дисциплине: зачет с оценкой.

Форма проведения зачета с оценкой: устный ответ на два вопроса в билете.

6.3. Балльно-рейтинговая система оценивания

Таблица 7. Распределение баллов по видам учебной работы

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Текущий контроль	0-100
Промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

Таблица 7.1. Распределение баллов по текущему контролю

3 семестр			
№	Вид работ	Min	Max
1. Обязательная часть			
1.1.	Текущий контроль успеваемости по проверке сформированности остаточных знаний		
	Текущий контроль успеваемости (ТКУ). Тест:	0	10
1.2	Выполнение лабораторных работ:		
1.2.1	Лабораторная работа №1	3	5

	Определение квазиравновесной проницаемости и коэффициента прилипания водорода на металлической мембране методом изотерм		
1.2.2	Лабораторная работа №2 Определение энергии активации и предэкспоненты проницаемости на металлической мембране методом изобар проницаемости	3	5
1.2.3	Лабораторная работа №3 Определение температурной зависимости коэффициента диффузии в металлической мембране методом спрямления кривой прорыва в функциональном масштабе	3	5
1.2.4	Лабораторная работа №4 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов путем решения обратной задачи диффузии в мембране с модифицированной поверхностью, применительно к методу прорыва	3	5
1.2.5	Лабораторная работа №5 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием атомизатора водорода	4	5
1.2.6	Лабораторная работа №6 Определение коэффициента диффузии и других кинетических коэффициентов методом концентрационных импульсов с использованием тлеющего разряда для пассивных поверхностей металла	4	5
Итого баллов по обязательной части		20	40
2. Вариативная часть			
2.1	Реферат по дисциплине «Специальная лаборатория по водородопроницаемости материалов»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

Таблица 7.2. Конвертация баллов в итоговую оценку

Оценка	Баллы
Зачтено (отлично)	85-100
Зачтено (хорошо)	64-84
Зачтено (удовлетворительно)	40-63
Не зачтено (неудовлетворительно)	0-39

7. Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации ко всем видам аудиторных занятий, а также методические рекомендации по организации самостоятельной работы, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации, представлены в Методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Список обязательной литературы

1. Алефельд, Г. Водород в металлах / Г. Алефельд, И. Фелькель. - М.: Мир, 2021. - Т. 1. - 506 с.
2. Бекман, И. Н. Исследование водородопроницаемости в технологии производства изделий электронной техники / И. Н. Бекман, И. Е. Габис, Т. Н. Компанисц, А. А. Курдюмов, В. Н. Лясников // Обз. по электр. техн. Сер. 7. - 2019. - Вып. 1(1084). - С. 1-66. - Режим доступа: <https://profbeckman.narod.ru/VODpro.htm>.

Список дополнительной литературы

1. Левинский Ю.В. Водород в металлах и интерметаллидах. Термодинамические, кинетические и технологические характеристики металл-водородных систем / Ю.В. Левинский, Ю.Б. Патрикеев, Ю.М. Филянд: Справочник. - М.: Научный мир, 2017. - 546 с.; илл. - Режим доступа: https://www.ism.ac.ru/n_scientific_production/doc/vodorod_v_metallah_i_intermetallidah.pdf.
2. Водородные энерготехнологии с использованием металлгидридов : Сборник трудов Научной конференции с международным участием и третьей Молодежной школы, Черноголовка, 01–04 октября 2024 года. – Черноголовка: Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, 2024. – 177 с. – ISBN 978-5-91845-115-1. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?selid=72650499&id=72650005>.
3. Кутепов, С. Н. О поведении водорода в металлических сплавах / С. Н. Кутепов, А. Е. Гвоздев, О. В. Кузовлева, Д. С. Клемсеньев. // Чебышевский сборник, 2022, т. 23, вып. 5, с. 241–257. – Режим доступа: <https://www.mathnet.ru/links/6d2297313096c2cf7f4351c648f7e77b/cheb1269.pdf>.
4. Спиридонова, Т. И. Взаимодействие водорода с примесями в металлах IVB группы / Т. И. Спиридонова, А. В. Бакулин, С. Е. Кулькова // Физика твердого тела. – 2015. – Т. 57, № 10. – С. 1873-1882. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24195716>.
5. Водородная энергетика : учебник / Н. В. Кулешов, С. К. Попов, С. В. Захаров [и др.]. — Москва : НИУ МЭИ, 2021. — 548 с. — ISBN 978-5-7046-2438-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://c.lanbook.com/book/307244>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6. Гольцов, В. А. Фундаментальные основы водородной обработки материалов / В. А. Гольцов // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – № 1(141). – С. 42-69.

8.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

1. Образовательная платформа Нетология [Электронный ресурс]. Режим

доступа: <https://netology.ru/>

2. Образовательная платформа Яндекс Практикум [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://practicum.yandex.ru/>

3. Образовательная платформа GeekBrains [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gb.ru/>

4. Образовательная платформа Skillbox [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skillbox.ru/>

5. Образовательная платформа SkillFactory [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://skillfactory.ru/>

6. Образовательная платформа Открытое образование [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://openedu.ru/>

7. Образовательная платформа Лекториум [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.lektorium.tv/>

8.3. Перечень программного обеспечения

1. Операционная система: Astra linux [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://astralinux.ru/>

2. Операционная система: Alt linux [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.basealt.ru/alt-education/>

3. Программное обеспечение географической информационной системы (ГИС) QGIS (триал/демо версия). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://qgis.org/>

4. Браузер: Яндекс браузер [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://browser.yandex.ru/>

5. Файловый архиватор: 7-zip [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.7-zip.org/>

6. Файловый менеджер: Far-manager [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://farmanager.com/>

7. Офисный пакет: OpenOffice [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.openoffice.org/ru/>

8. Разработка 2D и 3D визуализации данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.goldensoftware.com/>

8.4. Перечень информационных справочных систем

1. Веб-геоинформационная платформа [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kosmosnimki.ru/>

2. Веб-портал в области ГИС и ДЗЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gis-lab.info/>

3. Веб-портал в области свободного программного обеспечения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.opennet.ru/>

4. Веб-портал в области современных технологий [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.computerra.ru/>

5. Информационный портал «ГИС-ассоциация: Межрегиональная общественная организация содействия развитию рынка геоинформационных технологий и услуг» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gisa.ru/>

6. Информационный портал «Научная Россия» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/>

7. Сетевое издание «CNews» («СиНьюс») [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cnews.ru/>

8. Сетевое издание «IT-World: Мир цифровых и информационных технологий» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.it-world.ru/>

9. Справочно-информационный портал «Грамота.ру» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gramota.ru/>
10. Справочно-правовая система «Гарант» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garant.ru/>
11. Справочно-правовая система «Консультант плюс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.consultant.ru/>

8.5. Перечень профессиональных баз данных

1. База данных исследований Центра стратегических разработок [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.csr.ru/ru/research/>
2. База данных международных индексов научного цитирования Scopus [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.scopus.com/>
3. База данных международных индексов научного цитирования Web of Science [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://webofscience.com/>
4. База данных НП «Международное Исследовательское Агентство «Евразийский Монитор» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eurasiamonitor.org/issliedovaniia>
5. База книг и публикаций электронной библиотеки «Наука и Техника» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://n-t.ru/>
6. Базы данных официальной статистики Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistic>
7. Геопортал данных ДЗЗ Роскосмоса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gptl.ru/>
8. Электронная библиотечная система «Znanium» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://znanium.ru/>
9. Электронная библиотечная система «Юрайт» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://urait.ru/>
10. Электронная научная библиотека «Elibrary» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://elibrary.ru/>
11. Электронная научная библиотека «КиберЛенинка» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>
12. Национальное управления океанических и атмосферных исследований NOAA [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.iaea.org/>
13. ЕСИМО – межведомственная федеральная информационная система. Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://esimo.ru/>
14. Федеральная служба государственной статистики (Профессиональная база данных) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gks.ru/>
15. Официальная статистика РФ ЕМИСС [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение программы соответствует действующим санитарно-техническим и противопожарным правилам и нормам и обеспечивает проведение всех видов аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов.

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, набором демонстрационного оборудования и учебно-наглядными пособиями, обеспечивающими тематические иллюстрации, соответствующие рабочим учебным программам дисциплин (модулей).

Учебная аудитория для групповых и индивидуальных консультаций – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами

обучения, служащими для представления учебной информации.

Учебная аудитория для текущего контроля и промежуточной аттестации – укомплектована специализированной (учебной) мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации.

Учебная аудитория, оснащенная специализированным оборудованием (СПбГУ, Ульяновская улица, 1, Петергоф, Санкт-Петербург, 198504) - для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оборудована специализированной (учебной) мебелью, доска меловая, доска интерактивная, мультимедиа проектор с колонками.

Помещение для самостоятельной работы – укомплектовано специализированной (учебной) мебелью, оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечено доступом в электронную информационно-образовательную среду организации.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

10. Особенности освоения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Обучение обучающихся с ограниченными возможностями здоровья при необходимости осуществляется на основе адаптированной рабочей программы с использованием специальных методов обучения и дидактических материалов, составленных с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся (обучающегося).

При определении формы проведения занятий с обучающимся-инвалидом учитываются рекомендации, содержащиеся в индивидуальной программе реабилитации инвалида, относительно рекомендованных условий и видов труда.

При необходимости для обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья создаются специальные рабочие места с учетом нарушенных функций и ограничений жизнедеятельности.

11. Возможность применения электронного обучения и дистанционных образовательных технологий

Дисциплина может реализовываться с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.