

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра физики ускорителей**



**Рабочая программа дисциплины  
ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ УСКОРИТЕЛЕЙ**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

| Семестр                                                                      | Общий<br>объем | Виды учебных занятий (в часах)                    |                         |                           |                                                            | Промежуточная аттестация (в часах)                            |                                                   |       |                               |         |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------|-------------------------------|---------|
|                                                                              |                | Контактная работа обучающихся<br>с преподавателем |                         |                           | Самостоятельная ра-<br>бота, не включая пе-<br>риод сессии | Самостоятельная<br>подготовка к проме-<br>жуточной аттестации | Контактная работа<br>обучающихся с преподавателем |       |                               |         |
|                                                                              |                | Лекции                                            | Практические<br>занятия | Лабораторные за-<br>нятия |                                                            |                                                               | Консультации                                      | Зачет | Дифференциро-<br>ванный зачет | Экзамен |
| 1                                                                            | 2              | 3                                                 | 4                       | 5                         | 6                                                          | 7                                                             | 8                                                 | 9     | 10                            | 11      |
| 1                                                                            | 36             | 16                                                |                         |                           | 18                                                         |                                                               |                                                   |       | 2                             |         |
| Всего 36 часов / 1 зачётная единица, из них:<br>- контактная работа 18 часов |                |                                                   |                         |                           |                                                            |                                                               |                                                   |       |                               |         |
| Компетенции: ПК-1                                                            |                |                                                   |                         |                           |                                                            |                                                               |                                                   |       |                               |         |

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

|                                                                                                                                                                                                                       |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Содержание .....</b>                                                                                                                                                                                               | <b>2</b> |
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....                                                                         | 3        |
| 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....                                                                                                                                                       | 3        |
| 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. .... | 4        |
| 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....                                                           | 4        |
| 5. Перечень учебной литературы. ....                                                                                                                                                                                  | 5        |
| 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....                                                                                                                                | 5        |
| 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....                                                                                                     | 6        |
| 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....                                                                                                   | 6        |
| 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....                                                                                                           | 6        |
| 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....                                                                                                                | 6        |

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель данного курса лекций – познакомить слушателей с требованиями на вакуумные системы современных ускорителей, методами их расчета и примерами практической реализации.

Вакуумная система является неотъемлемой частью ускорителей заряженных частиц и комплексов на их основе, создаваемых для фундаментальных исследований и прикладных целей. Основной акцент сделан на определяющую роль поверхности в сверхвысоковакуумных установках. Лекции содержат обширный материал по экспериментальным исследованиям десорбции молекул газа с поверхности вакуумных камер в присутствии ионизирующего излучения.

Дисциплина «Вакуумные системы ускорителей» предназначена для обучения магистрантов-физиков основам вакуумной техники применительно к линейным и циклическим ускорителям.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции)                                                                                                                                                                               | Индикаторы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.<br><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>Знать</b> принципы работы и конструкции вакуумных насосов и датчиков давления, основные физические явления, влияющие на уровень давления остаточного газа в ускорителях.<br><b>Уметь</b> проводить концептуальное проектирование сложных вакуумных систем с распределенной газовой нагрузкой, расчёты профиля динамического давления в протяженных вакуумных структурах.<br><b>Владеть</b> аналитическими и численными методами расчета молекулярных потоков, методами расчёта и оптимизации вакуумных систем. |

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Вакуумные системы ускорителей» реализуется в магистратуре для студентов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики ускорителей.

Студенты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны иметь общую базовую подготовку в рамках программы первых четырех лет обучения в ВУЗе, в том числе:

- Математический анализ;
- Высшая алгебра;
- Электродинамика;
- Молекулярная физика;
- Термодинамика.

Этот курс должен предшествовать выполнению квалификационной работы магистранта по данной специализации, т.к. дает магистранту необходимые знания и навыки при работе с вакуумными системами ускорительных комплексов.

**3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Трудоёмкость дисциплины составляет: 1 зачётная единица, 36 часов.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – дифференцированный зачет.

| №  |  | Вид деятельности                     | Семестр |
|----|--|--------------------------------------|---------|
|    |  |                                      | 1       |
| 1  |  | Лекции, ч                            | 16      |
| 2  |  | Практические занятия, ч              | -       |
| 3  |  | Лабораторные занятия, ч              | -       |
| 4  |  | Занятия в контактной форме, ч из них | 18      |
| 5  |  | аудиторных занятий, ч                | 16      |
| 6  |  | в электронной форме, ч               | -       |
| 7  |  | консультаций, час.                   | -       |
| 8  |  | промежуточная аттестация, ч          | -       |
| 9  |  | Самостоятельная работа, час.         | 18      |
| 10 |  | Всего, ч                             | 36      |

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Вакуумные системы ускорителей» представляет собой полугодовой курс, читаемый на физический факультет НГУ. Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетную единицу, 36 академических часов.

| №<br>п/п | Раздел<br>дисциплины                                                              | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая<br>самостоятельную работу студен-<br>тов и трудоёмкость (в часах) |                    |                         |                                                               | Промежуточная<br>аттестация (в часах) |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
|          |                                                                                   |                 | Всего                                                                                          | Аудиторные<br>часы |                         | Сам. работа во время<br>занятий (не включая<br>период сессии) |                                       |
|          |                                                                                   |                 |                                                                                                | Лекции             | Практические<br>занятия |                                                               |                                       |
| 1        | 2                                                                                 | 3               | 4                                                                                              | 5                  | 6                       | 7                                                             | 8                                     |
| 1.       | Требования на вакуумные системы со-<br>временных ускорителей заряженных<br>частиц | 1               | 2                                                                                              | 1                  |                         | 1                                                             |                                       |

|    |                                                                                              |       |           |           |  |           |          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|-----------|--|-----------|----------|
| 2. | Роль поверхности. Стимулированная десорбция                                                  | 2-3   | 4         | 2         |  | 2         |          |
| 3. | Положения из молекулярной физики                                                             | 4     | 2         | 1         |  | 1         |          |
| 4. | Молекулярная проводимость сложных систем                                                     | 5-6   | 4         | 2         |  | 2         |          |
| 5. | Холодная вакуумная камера пучка                                                              | 7-8   | 4         | 2         |  | 2         |          |
| 6. | Универсальная система уравнений для расчета профиля давления в протяженной вакуумной системе | 9-10  | 4         | 2         |  | 2         |          |
|    | Вакуумные технологии                                                                         | 11-12 | 4         | 2         |  | 2         |          |
|    | Вакуумные измерения                                                                          | 13-14 | 4         | 2         |  | 2         |          |
|    | Общие принципы построения вакуумных систем больших электрофизических установок               | 15-16 | 4         | 2         |  | 4         |          |
| 7. | Дифференцированный зачет                                                                     | 17    | 2         |           |  |           | 2        |
| 8. | <b>Всего</b>                                                                                 |       | <b>36</b> | <b>16</b> |  | <b>18</b> | <b>2</b> |

### **Программа и основное содержание лекций (16 часов)**

Учебный курс «Вакуумные системы ускорителей» носит преимущественно лекционный характер. Изучение и закрепление нового материала происходит на интерактивных лекциях: лекциях-дискуссиях и лекциях с разбором конкретных ситуаций и конкретных примеров построения вакуумных систем.

### **Самостоятельная работа студентов (18 часов)**

| Перечень занятий на СРС                | Объем, час |
|----------------------------------------|------------|
| Проработка лекций, печатных материалов | 18         |

### **5. Перечень учебной литературы.**

1. Персов, Борис Зиновьевич. Основы проектирования экспериментальных физических установок : [учебное пособие] / Б.З. Персов ; отв. ред. Н.С. Диканский; Гос. ком. Рос. Федерации по высшему образованию; Новосиб. гос. ун-т. - Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 1993. -156, [1] с. : ил. ; 20 см. - Библиогр.: с.154-155. - ISBN 5-230-13538-7.(133 экз.)
2. Основы вакуумной техники: Учеб. для техникумов электрон. приборов / [А.И. Пипко, В.Я. Плисковский, Б.И. Королев, В.И. Кузнецов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоиздат, 1981. - 431 с. : ил. - Авт.указаны на обороте тит.л. - Библиогр.:с.422-423. (95 экз.)
3. Глазков, Анатолий Александрович. Вакуумные системы электро-физических установок / А.А. Глазков, И.Ф. Малышев, Г.Л. Саксаганский. Москва : Атомиздат, 1975, 192 с. : ил. Библиогр.: с.182-191. Персов Б.З. Расчет и проектирование экспериментальных установок. (3 экз.)

### **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

1. Методические материалы на сайте кафедры физики ускорителей ФФ НГУ: <http://accel.inp.nsk.su/>

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используется.

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины «Вакуумные системы ускорителей» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по**

## дисциплине

### *Текущий контроль успеваемости*

Система контроля включает краткий текущий (по ходу курса) контроль освоения лекционного материала, на котором и основывается окончательная оценка работы студента в течение семестра.

### *Промежуточная аттестация*

Освоение компетенций оценивается по пятибалльной шкале. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать в профессиональной деятельности материал данного курса. Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации. Критерии и шкалы оценивания индикаторов достижения результатов обучения отражены в Таблице 10.2.

## Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

| Индикатор                                                                                                                                                                                                            | Результат обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Оценочные средства                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>Знать</b> принципы работы и конструкции вакуумных насосов и датчиков давления, основные физические явления, влияющие на уровень давления остаточного газа в ускорителях.                                                                                                                                                        | Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет. |
| <b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.                     | <b>Уметь</b> проводить концептуальное проектирование сложных вакуумных систем с распределенной газовой нагрузкой, расчёты профиля динамического давления в протяженных вакуумных структурах.<br><b>Владеть</b> аналитическими и численными методами расчета молекулярных потоков, методами расчёта и оптимизации вакуумных систем. | Опрос в начале каждой лекции, дифференцированный зачет. |

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Вакуумные системы ускорителей».

Таблица 10.2

| Критерии оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Шкала оценивания           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий,</li> <li>– наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul> <p>При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить не принципиальные неточности.</p> | <i>Отлично</i>             |
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок,</li> <li>– наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.</li> </ul>                                                     | <i>Хорошо</i>              |
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений,</li> <li>– корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками,</li> <li>– наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>                 | <i>Удовлетворительно</i>   |
| <p><b><u>Дифференцированный зачет:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала,</li> <li>– грубые ошибки в применении терминов и понятий,</li> <li>– отсутствие ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>                                                                                                                                         | <i>Неудовлетворительно</i> |

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### *Вопросы для промежуточной аттестации:*

1. Среднеарифметическая скорость движения молекул. Средняя длина свободного пробега.
2. Проводимость отверстия при молекулярном режиме течения газа.

3. Основное уравнение вакуумной техники.
4. Проводимость сложной системы. Понятие коэффициента Клаузинга.
5. Понятия низкого, среднего, высокого вакуума. Критерий Кнудсена.
6. Энергия, время адсорбции (формула Френкеля). Изотерма адсорбции Ленгмюра.
7. Одномерное дифференциальное уравнение для расчета профиля давления (концентрации) в случае равномерно распределенного газовойделения в протяженной вакуумной камере.
8. Многослойная адсорбция. Уравнение ВЭТ (Брунауэр, Эммет, Тейлор). S – образная изотерма. Островковая адсорбция.
9. Одномерное дифференциальное уравнение для расчета профиля давления (концентрации) в случае протяженной вакуумной камеры с поглощающими стенками.
10. Угловое распределение молекул в процессе десорбции. Метод угловых коэффициентов для расчета молекулярных потоков.
11. Деформационные, гидростатические, механические преобразователи (датчики) давления.
12. Электронные, магнитные преобразователи (принцип действия, основные характеристики).
13. Газоанализаторы (принцип действия, основные характеристики).
14. Градуировка (калибровка) преобразователей.
15. Основные характеристики вакуумных насосов.
16. Насосы химического действия. Ионные (магниторазрядные) насосы. Геттеры.
17. Криоконденсационные насосы.
18. Механические насосы.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.