

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель председателя приемной
комиссии в аспирантуру

Д.А. Тагорский

«20»

2025 г.



**ПРОГРАММА
вступительного испытания по специальности**

Уровень высшего образования: подготовка кадров высшей квалификации

Тип образовательной программы: программа подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Научная специальность: 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы

Форма обучения: очная

2025 г.

Содержание

Раздел I. Вводная часть

Раздел II. Порядок проведения вступительных испытаний

Раздел III. Критерии оценивания

Раздел IV. Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру

**Раздел V. Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение
программы вступительного испытания в аспирантуру**

Раздел I. Вводная часть

Вступительное испытание направлено на выявление степени готовности абитуриентов к освоению образовательной программы подготовки научнопедагогических кадров в аспирантуре, реализуемых в институте по научной специальности – 2.6.6 Нанотехнологии и наноматериалы.

Раздел II. Порядок проведения вступительных испытаний

Испытание проходит в сроки, установленные приёмной комиссией.

Вступительное испытание проводится в устно-письменной форме по экзаменационным билетам. Письменная часть экзамена предполагает развернутые ответы на вопросы экзаменационного билета. Устная часть экзамена предполагает ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, заданные комиссией, в том числе и по направлению планируемого диссертационного исследования.

На вступительное испытание отводится 3 часа (180 минут). Экзаменационный билет содержит 5 вопросов.

Раздел III. Критерии оценивания

Разработанные критерии оценивания вступительных экзаменов в аспирантуру по 100 бальной системе (с общим объемом кратным 5):

40-59 баллов – удовлетворительно;

60-79 баллов – хорошо;

80-100 баллов – отлично.

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – 40 баллов.

Оценка «отлично» (80-100 баллов) выставляется абитуриенту, который обнаружил всестороннее, систематическое и глубокое знание программного материала, усвоил взаимосвязь основных понятий программы, проявил творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала. Оценка «хорошо» (60-79 баллов) выставляется абитуриенту, который обнаружил полное знание программного материала, показал систематический характер знаний по программе и способен к их самостоятельному обновлению в ходе предстоящей учебной работы. Оценка «удовлетворительно» (40-59 баллов) выставляется абитуриенту, обнаружил знание основного программного материала в объеме, необходимом для предстоящей учебы, допустил погрешности в ответе, но обладает необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя. Оценка «неудовлетворительно» (39-0 баллов) выставляется абитуриенту, который обнаружил значительные пробелы в знаниях основного программного материала, допустил принципиальные ошибки и не готов приступить к предстоящему обучению без дополнительной подготовки.

Раздел IV. Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру

1. Классификация наноматериалов. Основные типы структур наноматериалов.

2. Формирование наноматериалов по механизму "снизу-вверх". Формирование наноматериалов по механизму "сверху-вниз".
3. Размерные зависимости свойств наноматериалов. Характеристики дисперсности наноматериалов. Поверхность, границы, морфология наноматериалов.
4. Механические свойства наноматериалов. Физические и химические свойства наноматериалов. Химические свойства наноматериалов.
5. Методы получения наноматериалов с использованием порошковой металлургии. Технология формования изделий из нанопорошков. Методы получения наноматериалов с использованием аморфизации. Получение наноматериалов с использованием интенсивной пластической деформации.
6. Термическое испарение материалов. Катодное распыление материалов. Магнетронное распыление материалов. Ионное осаждение материалов. Ионное плакирование. Ионная имплантация.
7. Высокоскоростное газопламенное напыление. Плазменное напыление.
8. Лазерное легирование и имплантация. Лазерная аморфизация поверхности.
9. Интенсивная пластическая деформация поверхностного слоя. Химическое осаждение наноматериалов из паровой фазы. Осаждение материалов с использованием плазмы тлеющего разряда.
10. Световая и электронная литография. Осаждение из раствора металлоорганических соединений. Химическое и электрохимическое окисление.
11. Фуллерены. Фуллериты. Нанотрубки, нанопроволоки и нановолокна.
12. Молекулярные композиты. Полимерные нанокомпозиты. Слоистые нанокомпозиты. Нанокомпозиты с сетчатой структурой. Нанокомпозиты, содержащие металлы или полупроводники.
13. Полимеры, модифицированные углеродными нанотрубками. Нанопористые материалы.
14. Исследование размерных характеристик. Использование электронной микроскопии при исследовании наноматериалов.
15. Определение элементного, структурного и фазового состава. Рентгеноструктурные методы анализа наноматериалов. Изучение физико-механических свойств наноматериалов.
- 16 Конструкционные наноматериалы. Инструментальные наноматериалы
17. Основные постулаты физики вакуума, понятие об идеальном газе. Определение давления из молекулярно-кинетической теории.
18. Элементы кинетической теории и газовые законы.
19. Явления переноса в вакууме: вязкость газов, перенос теплоты, диффузия.
20. Теоретические основы процесса откачки. Основные определения вакуумной техники. Основное уравнение вакуумной техники.
21. Основные режимы течения газов по трубопроводу при откачке. Принцип оценки условий течения газа.
22. Основы расчета вакуумной системы. Последовательность расчета вакуумной системы.

23. Классификация и основные параметры вакуумных насосов.
24. Основные разновидности вращательных насосов с масляным уплотнением. Конструкция, принцип действия, параметры и области применения.
25. Молекулярные насосы: двухроторные, турбомолекулярные. Конструкция, принцип действия, характеристики, особенности эксплуатации.
26. Струйные вакуумные насосы: конструкция, принцип действия, характеристики, особенности эксплуатации.
27. Типы вакуумных ловушек. Конструктивные особенности, принцип действия, области применения.
28. Основные требования к рабочим жидкостям вакуумных насосов. Виды рабочих жидкостей, их характеристики.
29. Электрофизические средства откачки. Разновидности геттерных насосов: принцип работы, конструктивные особенности, параметры.
30. Магнитные электроразрядные насосы: конструкция, принцип действия, характеристики, особенности эксплуатации.
31. Низкотемпературные средства откачки: конструкция, принцип действия, характеристики, особенности эксплуатации криогенных насосов.
32. Методы определения быстроты действия откачных средств.
33. Измерение быстроты действия насосов методом постоянного давления.
34. Определение быстроты действия насосов методом постоянного объема.
35. Контроль герметичности вакуумных систем. Классификация методов течеискания, их краткая характеристика.
36. Контроль герметичности вакуумных систем. Конструкция, принцип действия и особенности эксплуатации галоидных течеискателей.
37. Контроль герметичности вакуумных систем. Конструкция, принцип действия и особенности эксплуатации гелиевого масс-спектрометрического течеискателя.
38. Применение вакуумной техники в промышленности и производстве изделий электронной техники.
39. Понятие об идеальном газе как материальном объекте. Постулаты молекулярно-кинетической теории газов. Основные параметры молекул газов. Закон Авогадро.
40. Тепловое движение молекул газа, закон Максвелла. Распределение молекул газа по скоростям.
41. Средние скорости молекул газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.
42. Давление газов. Уравнение газового состояния. Единицы давления газов.
43. Распределение молекулярной концентрации газов в силовом поле Земли. Формула Больцмана.
44. Свободный пробег молекул газа. Средние значения числа взаимных соударений и длины свободного пробега молекул газа. Вероятностное распределение этих величин.
45. Частота соударений молекул газа с поверхностью. Объем газа, "падающий" на единичную площадку в единицу времени.

46. Распределение молекул газа, отраженных или вылетающих с поверхности. Закон косинуса. Физическое толкование закона косинуса.
47. Законы идеального газа. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
48. Взаимодействие газов и паров с поверхностью. Основные физические процессы, отражающие взаимодействие газов и паров с поверхностью твердого тела.
49. Физическая адсорбция. Основные характеристики адсорбции. Уравнение изотермы мономолекулярной адсорбции. Закон Генри.
50. Зависимость коэффициента от времени адсорбции. Адсорбционное равновесие. Скорость адсорбции.
51. Конденсация. Объем газа, конденсирующийся на единичную площадку. Явление криосорбции.
52. Электрическое поглощение газов. Параметры ионизации газов. Особенности ионизации газов в вакууме.
53. Динамическое состояние газов. Основные понятия, описывающие перенос газа. Критерий Кнудсена. Явления переноса и их связь с числом Кнудсена.
54. Теплопроводность газов. Закон Фурье. Факторы, определяющие тепловой поток в разреженном газе.
55. Вязкость. Диффузия. Закон Фика. Масса газа, "падающая" на единичную площадку.
56. Течение газа. Понятия, описывающие течение газа. Течение газа через отверстия, по трубопроводам. Формула Пуазейля и уравнение Кнудсена.
57. Смешанный режим течения газов. Границы режимов течения газов. Формула Кнудсена для промежуточного режима течения газ.
58. Источник газов и паров в вакуумных объемах. Сквозной дефект и поток газа через него. Испарение, десорбция, диффузионное газовыделение. Законы Фика.
59. Вакуумная система. Идеальная ВС и реальная ВС. Основные характеристики вакуумной системы
60. ВС с коммуникацией. Основное уравнение вакуумной техники.
61. Закономерности откачки объемного газа от времени откачки. Связь между временем откачки и параметрами вакуумного насоса. Уравнение нестационарной откачки.
62. Уравнения для расчета основным параметров начальной (nestационарной) откачки.
63. Вакуумные насосы. Основные функциональные характеристики. Диапазоны рабочих давлений.
64. Механические вытеснительные насосы. Двухроторные насосы. Конструкции, основные характеристики. Рабочие жидкости, применяемые в ротационных насосах.
65. Вакуумные насосы на основе передачи импульса движения молекулам газа. Молекулярные насосы. Уравнение скорости откачки молекулярного насоса. Компрессия газа при его движении по каналу с подвижной стенкой.
66. Турбомолекулярные насосы. Понятие об основном рабочем органе ТМН.

Теория откачки газа. Схема конструкции ТМН. ВС на базе турбомолекулярного насоса.

67. Диффузионные пароструйные насосы. Теория откачки, уравнение быстродействия диффузионного насоса. Схема конструкции, основные характеристики. Рабочие жидкости ВС на базе пароструйных насосов.

68. Насосы поверхностного действия. Классификация по принципу действия и диапазону рабочих давлений

69. Адсорбционные насосы. Уравнение материального баланса криоадсорбционной откачки. Структура адсорбента. Факторы, определяющие эффективность криосорбции. Схема конструкции адсорбционного насоса.

70. Криооткачка. Криогенные (криоконденсационные) насосы. Рабочие органы насоса Конструктивные и параметрические характеристики. ВС на базе криогенных насосов.

71. Испарительные насосы. Требования к геттеру. Методы возобновления хемосорбирующей поверхности Схема сублимационного насоса. Основные характеристики.

72. Ионно-сорбционные насосы. Ячейка Пеннинга. Магнито-изолированный разряд. Основные процессы, определяющие эффект ионной откачки.

73. Основной конструктивный элемент магниторазрядного насоса. ВС на базе испарительного или ионно-сорбционного насоса.

74. Вакуумная метрология. Диапазоны измеряемых давлений вакуумметров. Манометры и преобразователи. Чувствительный элемент.

75. Абсолютный манометр Мак-Леода. Особенности измерения. Рабочие жидкости в манометрах Мак-Леода. Деформационные манометры.

76. Тепловые преобразователи. Уравнение теплового баланса. Схема устройства, градуировочные зависимости.

77. Электронные преобразователи. Измерительное уравнение. Устройство датчика, градуировочная зависимость, пределы измерений. Факторы, ограничивающие диапазон измерений.

78. Магнитные преобразователи. Инверсно-магнетронный преобразователь. Измерительное уравнение. Схема устройства датчика.

79. Измерение парциальных давлений. Классификация газоанализаторов. Принцип анализа остаточной газовой среды.

80. Статический и динамический газоанализаторы. Схемы устройства, основы теории работы, характеристики.

81. Элементы вакуумных систем. Вводы движения, их классификация. Примеры схемных решений или конструкций.

82. Электрические вводы. Примеры конструкций. Применяемые материалы.

83. Вакуумно-плотные соединения. Принцип уплотнения. Примеры вакуумноплотных соединений на основе упругой деформации материала. Прогреваемые вакуумные уплотнения. Материалы уплотняющих пар.

84. Коммутационная аппаратура. Классификация, основные элементы запорных устройств. Примеры конструкций клапана, затвора на основе различных уплотняющих пар.

85. Ловушки. Ретродиффузия паров масел из вакуумных насосов. Классификация улавливающих устройств. Примеры схемных решений ловушек различных типов.

86. Вакуумные системы. Классификация ВС. Основные требования к ВС.

Элементы вакуумных систем. Принцип построения ВС.

87. Типы вакуумных систем: на объемным средствах откачки, на базе молекулярных насосов, с применением комбинированной откачки, для удаления агрессивных газов.

88. Тенденции развития вакуумной техники. Технологический сверхвысокий вакуум. Основные материальные предпосылки для получения СВВ.

89. Разнесение" откачных средств в протяженных ВС. Шлюзование в современном вакуумно-технологическом оборудовании. Разделение трактов откачки.

"Первичный" и "процессный" вакуум в рабочих камерах технологических установок.

90. Матрично-изолированные кластерные сверхструктуры.

91. Сверхрешетки, биомембранны. Самоорганизующиеся среды. Ленгмюровские молекулярные пленки.

92. Наноматериалы для оптической коммутации. Магнитные наноматериалы. Гибридные нанокомпозиты.

93. Физико-химия процессов синтезаnanoструктурированных материалов.

94. Элементы термодинамики плоской поверхности. Термодинамика искривлённых поверхностей. Формулы Лапласа и Гиббса-Томсона. Температура плавления частиц малых размеров.

95. Общая характеристика адсорбционных процессов. Физическая и химическая адсорбция. Кинетика мономолекулярной адсорбции и двумерная конденсация.

Модель адсорбции Ленгмюра. Полимолекулярная адсорбция.

96. Термодинамика и кинетика процессов формирования новой фазы. Самоорганизация и синергетика в наномире. Фрактальные структуры.

97. Пиролиз. Дезинтеграция. Детонационный синтез. Компактирование нанопорошков.

98. Осаждение и напыление на подложку. Кристаллизация аморфных сплавов. Формирование гетероструктур.

99. Эпитаксия металлоорганических соединений из газовой фазы. Молекуларно-лучевая эпитаксия. Нанолитография.

100. Формирование квантовых точек. Искусственное наноформообразование.

Методы зондовой нанотехнологии. Проблема размерных эффектов.

101. Проблемы невоспроизводимости в нанотехнологии. Проблема измерений в квантовой механике и наномире.

102. Проблема слабых и сверхслабых воздействий в нанотехнологии.

103. Поверхностные, межфазные и граничные особенности объектов наномира. Механические особенности, закон Холла-Петча.
104. Диссипативные системы, бифуркации. Проблема чистоты материала, вещества и поверхности.
- 105 Использование наноматериалов в практической деятельности.
106. Применение наноматериалов в промышленности.
107. Новые материалы и технологии наноэлектроники.
108. Использование наноматериалов в биологии и медицине.
109. Доктрина развития работ по нанотехнологии и наноматериалам в России.
110. Магистральные направления развития нанотехнологии. Прогнозы и перспективы

Раздел V. Учебно-методическое обеспечение и информационное обеспечение программы вступительного испытания в аспирантуру

1. Основы нанотехнологии: учебник / Н. Т. Кузнецов, В. М. Новоторцев, В. А. Жабрев, В. И. Марголин. - 2-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 400 с. - ISBN 978-5-00101-476-8. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94129> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.
2. Рыжонков Д. И. Наноматериалы: учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Лёвина, Э. Л. Дзидзигури. - 5-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 368 с. - ISBN 978-5-00101-474-4. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94117> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.
3. Ремпель А. А. Материалы и методы нанотехнологий: учебное пособие / А.А. Ремпель, А.А. Валеева. - 2-е изд., стер. - Москва: Флинта, 2017. - 136 с. - ISBN 978-5-9765-3225-0. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/959235> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.
4. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. Лабораторный практикум по нанотехнологиям: учебное пособие / Е. Д. Мишина, Н. Э. Шерстюк, А. А. Евдокимов, В. О. Вальднер; под редакцией А. С. Сигова. - 5-е изд. - Москва: Лаборатория знаний, 2017. - 187 с. - ISBN 978-5-00101-473-7. - URL: <https://e.lanbook.com/book/94113> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.
5. Барыбин А. А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур: учебное пособие / А. А. Барыбин, В. А. Бахтина, В. И. Томилин, Н. П. Томилина. - Красноярск: СФУ, 2011. - 236 с. - ISBN 978-5-7638-2396-7. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/441543> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.
6. Сироткин О. С. Основы инновационного материаловедения: монография / О. С. Сироткин. - Москва: ИНФРА-М, 2011. - 158 с. (Научная мысль; Материаловедение). ISBN 978-5-16-004948-9. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/226469> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.
7. Колмаков А. Г. Основы технологий и применение наноматериалов: монография / А. Г. Колмаков, С. М. Баринов, М. И. Алымов. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 208 с. - ISBN

978-5-9221-1408-0. - URL:<https://znanium.com/catalog/product/852369> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.

8. Головин Ю. И. Основы нанотехнологий / Ю. И. Головин. - Москва: Машиностроение, 2012. - 656 с. - ISBN 978-5-94275-662-8. - URL:<https://e.lanbook.com/book/5793> (дата обращения: 16.11.2020). - Текст: электронный.

9. Шешин, Е. П. Вакуумные технологии: Учебное пособие / Е.П. Шешин. - Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 504 с. ISBN 978-5-91559-012-9. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/194315> (дата обращения: 09.10.2020). - Режим доступа: по подписке.

10. Попов, А. Н. Вакуумная техника: Учебное пособие / А.Н. Попов. - Москва: НИЦ Инфра-М; Минск: Нов. знание, 2012. - 167 с.: ил.; . - (Высшее образование:Бакалавриат). ISBN 978-5-16-006031-6. - Текст: электронный. - URL:<https://znanium.com/catalog/product/317368> (дата обращения: 09.10.2020). - Режим доступа: по подписке.

11. Беркин, А. Б. Физические основы вакуумной техники/БеркинА.Б., ВасилевскийА.И. - Новосибирск: НГТУ, 2014. - 84 с.: ISBN 978-5-7782-2424-7. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/546221> (дата обращения: 09.10.2020). - Режим доступа: по подписке.

12. Иванов, И. Вакуумный практикум: учебно-методическое пособие / ИвановИ. - Ростов-на-Дону:Южный федеральный университет, 2009. - 56 с.: ISBN. - Текст :электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/553467> (дата обращения: 09.10.2020). - Режим доступа: по подписке.

13. Вакуумная ионно-плазменная обработка: Учебное пособие / А.А. Ильин,В.В. Плихунов, Л.М. Петров и др. - Москва : Альфа-М: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 160с.: ил.; . - (Современные технологии: Магистратура). ISBN 978-5-98281-366-4. -Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/426490> (дата обращения: 09.10.2020). - Режим доступа: по подписке.

14. Бобров, Г. В. Теория и технология формирования неорганических покрытий: Монография / Г.В. Бобров, А.А. Ильин, В.С. Спектор. - Москва: Альфа-М,2014. - 928 с.: ил.; . ISBN 978-5-98281-407-4. - Текст: электронный. - URL:<https://znanium.com/catalog/product/471414> (дата обращения: 09.10.2020). - Режим доступа: по подписке

15. Браун А. Г. Элементы квантовой механики и физики атомного ядра [Электронный ресурс] : учебное пособие/А. Г.Браун, И. Г.Левитина - Москва : ИНФРА-М, 2015. - 84 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-010384-6. - Режим доступа:<http://znanium.com/bookread.php?book=486392>.

16. Никеров В. А. Физика для вузов: Механика и молекулярная физика [Электронный ресурс] : учебник / В. А. Никеров. - Москва: Дашков и К°, 2012. - 136 с. - ISBN 978-5-394-006913. - Режим доступа:<http://znanium.com/bookread.php?book=415061>.

17. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва: ГИ ТТЛ 2006.

18. Давидсон, В.Е. Основы гидrogазодинамики в примерах и задачах: учеб.пособие для студ. вузов по напр. "Технологические машины и оборуд." / В. Е. Давидсон. - М.: Академия, 2008. - 320 с.
19. Попов, Д.Н. Гидромеханика: учебник для студ. вузов / Д. Н. Попов, С. С.Панаиотти, М. В. Рябинин; под ред.Д.Н.Попова. - 2-е изд.,стер. - М.: МГТУим.Н.Э.Баумана, 2002. - 384 с.
20. Морозов, А.И. Введение в плазмодинамику : студентам старших курсов, асп. / А. И. Морозов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Физматлит, 2008. - 616 с. - Библиогр.: с. 603-613. - ISBN 978-5-9221-0931-4. 5 экз.
21. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика. –5-е изд., перераб. – М.: Физматлит, 2001. – 736 с. (<http://e.lanbook.com>)
22. Брушлинский К.В. Математические и вычислительные задачи магнитнойгазодинамики [Электронный ресурс] / К.В. Брушлинский. – 2-е изд. (эл.). – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. – 200 с. (<http://e.lanbook.com>)
23. Котельников В.А. и др. Математическое моделирование обтекания тел потоками столкновительной и бесстолкновительной плазмы / В.А. Котельников, М.В.Котельников, В.Ю. Гидаспов. – М.: Физматлит, 2010. – 272 с. (<http://e.lanbook.com>)
24. Голант В.Е., Жилинский А.П., Сахаров И.Е. Основы физики плазмы. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Лань, 2011. - 448 с. (<http://e.lanbook.com>)
- 25.Котельников, И. А. Лекции по физике плазмы [Электронный ресурс] / И. А.Котельников. - 2-е изд. (эл.). - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 384 с. (<http://znanium.com>)