

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
_____ А.Ю. Наливайко
« ____ » _____ 20 ____ г.

**Программа вступительного испытания по комплексному экзамену
для поступающих на обучение
по программам подготовки научных и научно-педагогических кадров
в аспирантуре**

**научная специальность:
1.3.11. Физика полупроводников**

Москва 2026

Введение

Программа вступительного испытания в аспирантуру по научной специальности «1.3.11. Физика полупроводников» разработана в соответствии с требованиями базовых учебных программ технических специальностей высших учебных заведений и паспортом научной специальности.

РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. На вступительное испытание поступающие допускаются при наличии документа, удостоверяющего личность и гражданство (паспорта), и расписки о подаче документов.

2. Форма проведения вступительного испытания: письменный комплексный междисциплинарный экзамен.

Время выполнения задания: 60 минут.

Экзаменационный билет содержит 2 контрольных вопроса по дисциплинам, указанным в разделе 2.

3. По результатам вступительного испытания, поступающему выставляется оценка от нуля до ста баллов. Минимальный положительный балл по 100-балльной системе составляет 40 баллов, ниже которого вступительное испытание считается несданным и баллы за индивидуальные достижения не рассматриваются.

Итоговая оценка за вступительное испытание определяется по критериям:

Баллы	Критерий выставления оценки
81-100	Демонстрация отличных знаний по заданному вопросу. Умение иллюстрировать теоретические положения эскизами, графиками, формулами. Широкий кругозор по обсуждаемым вопросам.
61-80	Демонстрация твердых знаний по заданному вопросу. Наличие мелких неточностей в ответе и в иллюстративном материале.
51-60	Неплохое знание вопроса, но с заметными ошибками.
40-50	Слабое знание и понимание рассматриваемого вопроса, со значительными ошибками.
0-39	Незнание и непонимание рассматриваемого вопроса.

4. Вступительные испытания проводятся в очном формате и с применением дистанционных технологий по расписанию приёмной комиссии университета, размещенному на официальном сайте университета.

Экзаменационная аудитория объявляется за 1 день до начала вступительного испытания в очном формате.

5. Вступительные испытания с применением дистанционных технологий проводятся на выделенном образовательном портале Московского Политеха (<http://lms.mospolytech.ru>) (далее – LMS), на котором размещен онлайн-курс «ВИА2026_<Код и Наименование ООП>» для приема вступительного испытания (Например, «ВИА2026_1.1.7. Теоретическая механика, динамика машин»). Взаимодействие между участниками вступительных испытаний (председателем, членами комиссий и абитуриентами) осуществляется с применением дистанционных технологий и видеоконференцсвязи в системе МТС Линк, Zoom и пр. Ссылка на видеоконференцию размещается в онлайн-курсе на портале LMS. Конкретный вид используемого программного продукта будет указан приёмной комиссией.

6. Онлайн-курс «ВИА2026<Код и Наименование ООП>», предназначенный для проведения ВИА, содержит разделы для загрузки письменных ответов и реферата, программу вступительных испытаний по научной специальности, правила проведения ВИА, в т.ч. бланк согласия абитуриента о проведении видеофиксации хода испытаний.

7. Регистрация на портале ВИА2026 и доступ к онлайн-курсу «ВИА2026<Код и Наименование ООП>» осуществляется из личного кабинета абитуриента, сформированного при подаче документов в приемную комиссию Московского Политеха.

8. Ссылка для подключения к видеоконференции ВИА доступна абитуриенту в онлайн-курсе «ВИА2026<Код и Наименование ООП>» после регистрации на портале ВИА.

9. Перед началом вступительного испытания, поступающим сообщается время и место получения информации о полученных результатах.

10. На вступительных испытаниях разрешается пользоваться: справочной литературой, предоставляемой комиссией. Запрещено пользоваться средствами связи.

11. Поступающий, нарушающий правила поведения на вступительном испытании, может быть удален из аудитории без предупреждения.

У такого поступающего отбираются все экзаменационные материалы. Фамилия, имя, отчество удаленного из аудитории поступающего и причина его удаления заносятся в протокол проведения вступительного испытания.

Поступающий может покинуть аудиторию только полностью сдав все экзаменационные материалы.

12. При проведении вступительного испытания вопросы поступающих по содержанию экзаменационных вопросов членами экзаменационной комиссии не рассматриваются. При обнаружении опечатки или другой неточности какого-либо задания вступительного испытания, члены экзаменационной

комиссии обязаны отметить этот факт в протоколе проведения вступительного испытания. Экзаменационной комиссией будут проанализированы все замечания, при признании вопроса не корректным он засчитывается поступающему, как выполненный правильно.

13. Письменные ответы на вопросы оформляются на бланке формата А4 с указанием идентификационных данных абитуриента (Фамилия И.О., номер билета, номер вопроса). Бланк заполняется вручную, разборчивым почерком. Эскизы, схемы выполняются вручную, допускается применение чертёжных инструментов. Каждая страница, содержащая ответ, нумеруется и визируется абитуриентом.

При прохождении вступительного испытания в дистанционном формате, по истечении времени, отведенного на выполнение письменного экзамена, поступающий загружает свой ответ в форме скан-документа (.pdf) или фотографии (.jpg) в онлайн-курсе «ВИА2026<Код и Наименование ООП>» строго до времени, указанного экзаменационной комиссией.

14. Поступающий, сдающий вступительные испытания дистанционно, также может быть досрочно удален из вебинарной комнаты в случае если обнаружится, что он находится в помещении не один и ему помогают третьи лица.

15. Поступающий, который планирует сдавать вступительные испытания дистанционно, должен быть обеспечен ПК с видеокамерой хорошего разрешения, микрофоном, и устойчивым интернет соединением, при этом если в процессе проведения испытаний у поступающего пропадает картинка или сигнал интернет соединения и оно будет разорвано, имеется не более 5 минут на повторное подключение, более этого времени испытание считается завершённым, поступающему ставится оценка по факту прошедшей беседы до времени отключения.

16. По окончании вступительного испытания поступающий информируется комиссией о набранных баллах с учетом индивидуальных достижений.

17. При приеме на обучение по программам аспирантуры университет учитывает следующие индивидуальные достижения:

а) общие индивидуальные достижения:

- публикации в изданиях, включенных в «Белый список» и индексируемые в базах данных «Web of ScienceCore Collection» или «Scopus» – 10 баллов за каждую публикацию;
- публикации в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций («перечень ВАК»), а также авторские свидетельства

на изобретения, патенты – 5 баллов за каждую публикацию, авторское свидетельство или патент;

- статьи, тексты, тезисы докладов, опубликованные в трудах международных или всероссийских симпозиумов, конференций, семинаров – 4 балла за каждую публикацию;

- прочие публикации – 2 балла за каждую публикацию;

- диплом победителя/призера/лауреата научно-исследовательского трека Всероссийского инженерного конкурса, полученный за последние два года, по профилю, соответствующему научной специальности, на которую абитуриент подал документы – 10 баллов;

- диплом победителя/призера/медалиста (бронзовый, серебряный, золотой) Всероссийской олимпиады студентов «Я – профессионал», полученный за последние два года, по профилю, соответствующему научной специальности, на которую абитуриент подал документы – 5 баллов;

- дипломы победителей международных и всероссийских научных конкурсов, студенческих олимпиад и творческих фестивалей, тематика которых соответствует направленности подготовки (научной специальности) в аспирантуре – 3 балла за каждый диплом;

- дипломы победителей региональных конкурсов, студенческих олимпиад и творческих фестивалей, тематика которых соответствует направленности подготовки (научной специальности) в аспирантуре – 2 балла за каждый диплом;

- наличие удостоверения о сдаче кандидатских экзаменов (для лиц, сдавших кандидатские экзамены за рубежом – справки о наличии законной силы предъявленного документа о сдаче кандидатских экзаменов, выданной Министерством образования и науки Российской Федерации) – 2 балла;

- диплом магистра или специалиста с отличием – 10 баллов;

- рекомендательное письмо от потенциального научного руководителя / руководителя Центра компетенций Московского Политеха – 30 баллов;

б) целевые индивидуальные достижения:

- участие в мероприятиях по профессиональной ориентации (далее – профориентационные мероприятия), проводимых заказчиком целевого обучения – 1 балл за одно мероприятие, прошедшее в течение года до даты начала приема документов на программы аспирантуры.

18. Учет индивидуальных достижений осуществляется посредством начисления баллов за индивидуальные достижения, но не более 100 баллов за совокупность представленных индивидуальных достижений. Указанные

баллы начисляются поступающему, представившему документы, подтверждающие получение результатов индивидуальных достижений, и включаются в сумму конкурсных баллов. Учет индивидуальных достижений осуществляется предметной комиссией в ходе проведения комплексного экзамена. Поступающий приносит копии материалов, подтверждающие индивидуальные достижения, на комплексный экзамен.

РАЗДЕЛ 2. СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Тема 1. Химическая связь и атомная структура полупроводников

Электронная конфигурация внешних оболочек атомов. Типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-Ваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников – элементов A^{IV} , A^{VI} и соединений типов $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}B^{VI}$. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Структурные дефекты в кристаллических полупроводниках: точечные, линейные, двумерные и объемные дефекты. Химическая природа и электронные свойства примесей.

Тема 2. Основы зонной теории полупроводников

Основы зонной теории кристаллических твердых тел. Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении. Теорема Блоха. Квазиимпульс и зона Бриллюэна. Понятие об энергетических зонах. Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки зрения зонной теории. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода слабо связанных электронов. Понятие об эффективной массе. Тензор обратных эффективных масс. Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники. Примеры зонных структур полупроводников: зоны проводимости полупроводников $A^{III}B^V$, Si, Ge. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

Тема 3. Кинетические явления в полупроводниках

Кристаллы во внешних полях. Средняя скорость движения электрона в кристалле. Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях.

Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.

Тема 4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках

Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям. Плотность состояний в системах пониженной размерности. Концентрации электронов и дырок в зонах. Эффективные плотности состояний электронов и дырок в зонах. Невырожденный электронный (дырочный) газ. Эффективная масса плотности состояний. Вычисление положения уровня Ферми в собственном полупроводнике. Статистика заполнения примесных уровней. Уровень Ферми в полупроводнике с примесями одного типа. Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках. Уровень Ферми в компенсированном полупроводнике. Многозарядные примесные центры.

Тема 5. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках

Неравновесные электроны и дырки. Возникновение неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. 2. Механизмы рекомбинации. Оптическая генерация. Темпы генерации и рекомбинации. Времена жизни электронов и дырок. Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных системах. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна. Межзонная рекомбинация. Коэффициент межзонной рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации. Рекомбинация через примеси и дефекты.

Тема 6. Основы физики полупроводниковых приборов

Физика работы p-n перехода. Вольтамперная характеристика p-n перехода. Выпрямительный диод. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный

транзистор. Эффект поля. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений. Фотоэлектрические преобразователи, кпд преобразования. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г.Г. Зегря, В.И. Перель. Основы физики полупроводников. М.Физматлит, 2009.
2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. Изд. 3-е, стер. – СПб.: Лань, 2008 – 618 с.
3. В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. Физика полупроводников. М. Наука, 1990.
4. К.В. Шалимова. Физика полупроводников. М. Энергоатомиздат, 1985
5. В.Л. Бонч-Бруевич и др. Сборник задач по физике полупроводников. М. Наука, 1987.
6. Зи С. Физика полупроводниковых приборов, в 2-х тт. 1984. М. Мир.
7. Шур М.С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х тт.. 1992. М., Мир.
8. Кейси Х., Паниш М. Лазеры на гетероструктурах М.: Мир, 1981.