Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
_____ М.В.Давыдов
«20» 01 2026 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в магистратуру
по специальностям 7-06-0713-01 «Микро- и наноэлектроника»
7-06-0717-01 «Нанотехнологии и наноматериалы»

Минск, 2026

Программа составлена на основании учебных программ дисциплин:
Физика конденсированного состояния для специальности 1 - 41 01 04 Нанотехнологии и наноматериалы в электронике (Регистрационный № УД -4-162/р);
Физика твердого тела для специальностей 1-41 01 02 Микро-и наноэлектронные технологии и системы ; 1-41 01 03 Квантовые информационные системы (Регистрационный № УД -4-113/р);
Наноэлектроника для специальностей 1-41 01 02 Микро-и наноэлектронные технологии и системы; 1-41 01 03 Квантовые информационные системы; 1-41 01 04 Нанотехнологии и наноматериалы в электронике (Регистрационный № УД -4-519/р).

СОСТАВИТЕЛИ:

Борисенко В. Е. д-р физ. - мат. наук, профессор, проф. кафедры МНЭ; Мигас Д. Б., д-р физ. - мат. наук, доцент, зав. кафедрой МНЭ.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ

Кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (протокол № 9 от 19 января 2026 г.)

Заведующий кафедрой МНЭ _____ Д.Б.Мигас

Содержание программы

Цель вступительного экзамена в магистратуру:

Вступительный экзамен в магистратуру по специальностям 7-06-0713-01 «Микро- и наноэлектроника» проводится с целью определения теоретической и практической готовности соискателя к поступлению в магистратуру в соответствии с образовательными программами высшего образования.

Список дисциплин, вынесенных на вступительный экзамен:
Физика конденсированного состояния.
Наноэлектроника.

Список вопросов по каждой дисциплине:

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Тема 1. Природа химической связи в твердых телах

Симметрия и структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Электрофизические характеристики основных полупроводниковых материалов микроэлектроники: Si, GaAs, Ge.

Тема 2. Зонная теория твердого тела

Энергетические зоны для электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Эффективная масса электрона. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках.

Тема 3. Рекомбинация и генерация носителей заряда в полупроводниках

Статистика носителей заряда в полупроводниках. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты (рекомбинация Холла-Шокли-Рида). Диффузионная длина пробега и время жизни избыточных носителей заряда. Поверхностная рекомбинация свободных избыточных заряда. Механизмы генерации свободных носителей заряда.

Тема 4. Электропроводность полупроводников

Носители заряда в электрическом поле. Взаимодействие свободных носителей заряда с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Диффузия и дрейф свободных носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности для свободных носителей заряда. Эффект Холла.

Тема 5. Оптические свойства полупроводников

Поглощение света в полупроводниках. Испускание света полупроводниками.

Тема 6. Термоэлектрические явления в полупроводниках
Термомагнитные эффекты. Гальваномагнитные эффекты.

Тема 7. Диэлектрики
Диэлектрики, их классификация. Электронная, дырочная, ионная проводимости диэлектриков. Комплексная диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь.

Тема 8. Контактные явления
Внешняя и внутренняя работа выхода. Гетеропереходы.

Тема 9. Свойства проводников.
Проводимость проводников. Природа магнетизма в твердых телах. Классификация материалов по их магнитным свойствам. Ферромагнетизм, температура Кюри. Обменное магнитное взаимодействие. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Статическая и динамическая магнитная восприимчивость.

Литература по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

Основная

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1986.
2. Аваев Н.А. Основы микроэлектроники. – М.: Сов. Радио, 1991.
3. Поклонский Н.А., Вырко С.А., Поденок С.Л. Статистическая физика полупроводников. Курс лекций. М., КомКнига, 2005, - 258 с.
4. Современная физика: конденсированное состояние. В.К. Воронов, А.В. Подоплелов, Москва, URSS, 2008, - 336 с.

Дополнительная

1. Павлов В.П., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М.: Высшая школа, 1985. – 384 с.; Нижний Новгород, НТУ им.Н.И. Лобачевского, 1993.-490с.
2. Актуальные проблемы физики твердого тела. Сборник статей, Мн. «Беларуская навука» - 2003.
3. Волчёк С.А., Петрович В.А. Оптические свойства твердых тел. Лабораторный практикум по курсу «Физика твердого тела», Минск: БГУИР, 2006.
4. Физика поверхности. В.И.Ролдугин, Интеллект, Москва, 2011, - 565 с.

НАНОЭЛЕКТРОНИКА И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Тема 1. Физические основы наноэлектроники
Квантовое ограничение движения носителей заряда. Баллистический транспорт носителей заряда в наноструктурах. Туннелирование носителей заряда в наноструктурах. Спиновые эффекты в наноструктурах. Свободная поверхность

и межфазные границы. Сверхрешетки. Моделирование атомных конфигураций. Периодические квантовые колодцы. Модуляционно-легированные структуры. Дельта-легированные структуры. Структуры металл/диэлектрик/полупроводник. Структуры с расщепленным затвором

Тема 2. Методы формирования наноэлектронных структур

Химическое осаждение из газовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Физические основы методов, основанных на использовании сканирующих зондов. Атомная инженерия. Локальное окисление металлов и полупроводников с использованием сканирующих зондов. Локальное химическое осаждение материалов из газовой фазы с использованием сканирующих зондов. Электроннолучевая литография. Зондовая нанолитография. Нанопечать. Самосборка атомов молекул на поверхности твердых тел. Самоорганизация атомов в объемных материалах. Самоорганизация атомов при эпитаксии. Пористый кремний. Пористый оксид алюминия. Углеродные наноструктуры.

Тема 3. Перенос носителей заряда в низкоразмерных структурах и приборы на их основе

Интерференция электронных волн. Вольт-амперные характеристики низкоразмерных структур. Квантовый эффект Холла. Электронные приборы на основе интерференционных эффектов и баллистического транспорта носителей заряда. Одноэлектронное туннелирование. Приборы на основе одноэлектронного туннелирования. Резонансное туннелирование. Приборы на основе резонансного туннелирования. Гигантское магнитосопротивление. Спин-контролируемое туннелирование. Управление спинами носителей заряда в полупроводниках. Спинтронные приборы.

Основная

1. Борисенко В. Е., Воробьева А. И., Данилюк А. Л., Уткина Е. А. Наноэлектроника. Теория и практика. – М.: Бином, 2013. – 366 с.

2. Borisenko V. E., Ossicini S. What is What in the Nanoworld. – Weinheim: Wiley-VCH, 2012. – 601 p.

3. Щука А. А. Наноэлектроника. – М.: Физматкнига, 2007.

4. Davies J. H. The Physics of Low-Dimensional Semiconductors: An Introduction. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998. – 422 p.

5. Gaponenko S. V. Introduction to Nanophotonics. – Cambridge: Cambridge University Press, 2010. – 484 p.

Дополнительная

1. E. L. Wolf. Quantum Nanoelectronics. – Weinheim: Wiley-VCH, 2009. – 456 p.

2. Bandyopadhyay S., Cahay M. Introduction to Spintronics. – Broken Sound Parkway: CRC, 2008.

3. Грибковский В. П. Теория поглощения и испускания света в полупроводниках. – Мн.: Наука и техника, 1997.

4. Ferry D. K., Goodnick S. M. Transport in Nanostructures. – Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

5. Хакен Х. Квантовополевая теория твердого тела. – М.: Наука, 1980. – 240 с.