

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»**

*Утверждаю  
Проректор НИУ ВШЭ  
С.Ю. Роцин*

---

*Одобрено на заседании  
академического совета  
аспирантской школы  
по техническим наукам  
протокол № 03/2 от 29.03.2016*

*Согласовано  
Академический директор  
Аспирантской школы  
по техническим наукам  
Клышинский Э.С.*

---

**Программа  
вступительного испытания по специальной дисциплине  
для поступающих на обучение по программам подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре**

**Направление - 03.06.01 - Физика и астрономия,  
Профиль (направленность) - 01.04.07 Физика конденсированного состояния**

**Москва  
2016**

## 1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа разработана в соответствии с Программой-минимум кандидатского экзамена по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» и Паспорта научной специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

## 2. Структура вступительного экзамена

**Форма проведения экзамена:** устный

**Структура вступительного экзамена:**

Экзамен состоит из ответа на билет, содержащий три вопроса. Экзаменуемый отвечает на вопросы, указанные в билете, и отвечает на вопросы комиссии.

**Оценка уровня знаний (баллы):**

Каждый вопрос оценивается по десятибалльной шкале. Итоговая оценка выставляется по 5-балльной шкале по следующему принципу пересчета:

"Отлично" - 8-10 баллов (по 10-балльной шкале);

"Хорошо" - 6-7 баллов (по 10-балльной шкале);

"Удовлетворительно" - 4-5 баллов (по 10-балльной шкале);

"Неудовлетворительно" - 0-3 балла (по 10-балльной шкале).

### Критерии оценивания

	Баллы
Ответ полный без замечаний, продемонстрированы знания ....	10-8
Ответ полный, с незначительными замечаниями,...	6-7
Ответ не полный, существенные замечания,...	4-5
Ответ на поставленный вопрос не дан.	0-3

Невыполнение одного из заданий (или отказ от его выполнения) является, как правило, основанием для выставления неудовлетворительной оценки за кандидатский экзамен в целом.

### 3. Содержание

#### I. Структура твердых тел

1. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Точечные и пространственные группы симметрии. Основные типы кристаллических структур. Обратная решетка. Индексы Миллера и Миллера-Бравэ.
2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и миграция. Вакансии. Междоузельные атомы. Гантели, кроудионы. Комплексы точечных дефектов. Стадии отжига дефектов. Дислокации в кристаллах – краевые, винтовые, смешанные. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Плотность дислокаций. Образование и размножение дислокаций. Полные и частичные дислокации. Дефекты упаковки. Границы зерен и субзерен. Радиационные и закалочные дефекты. Эффекты каналирования частиц и фокусировки атомных столкновений в кристаллических твердых телах. Распыление твердых тел при ионной бомбардировке. Радиационный блистеринг. Радиационное распухание. Влияние радиационных дефектов и термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

#### II. Энергетический спектр кристалла

1. Описание энергетического состояния кристаллов при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Закон дисперсии. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.
2. Колебания решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота. Ангармонизм и тепловое расширение.
3. Электронные состояния в кристаллах. Приближение сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твердых тел. Электронная теплоемкость, поверхности Ферми. Электроны и дырки. Положение Ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.

#### III. Электронные кинематические свойства твердых тел.

1. Кинематическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Времена релаксации. Механизм рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные столкновения. Нормальные процессы и процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.
2. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект Ганна

#### IV. Механические, оптические, магнитные свойства твердых тел.

1. Тензоры напряжения и деформации. Упругость, модули упругости. Сверхупругость и эффект памяти формы. Упругое последствие и релаксация напряжений. Внутреннее трение. Механический гистерезис. Эффект Баушингера. Пластичность кристаллов. Сверхпластичность. Предел текучести, зуб текучести. Механизмы пластической деформации. Упрочнение. Дисперсное и дисперсионное твердение. Ползучесть. Радиационная ползучесть. Усталость материалов. Разрушение – хрупкое и вязкое. Модели зарождения трещин. Ударная вязкость. Хрупко-вязкий переход. Низко- и высокотемпературное охрупчивание (НТРО и ВТРО) металлов. Способы повышения прочности материалов.
2. Механизм поглощения фотонов. Центры окраски – электронные и дырочные. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофотонные процессы.

Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Межзонные прямые и непрямые переходы. Люминесценция. Времена жизни возбуждений флюоресценции. Безизлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции

3. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Ферриты. Спиновые волны.

#### **V. Диэлектрики**

Эффективное поле. Электронная, ионная и дипольная поляризация. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Сегнетоэлектрические домены. Пьезоэлектрики.

#### **VI. Термодинамика и фазовые переходы.**

Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Флуктуации в термодинамических системах. Равновесие в термодинамических системах и правило фаз. Диаграмма равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузия. Механизмы диффузии. Законы Фика. Радиационно-стимулированная диффузия. Радиационно-индуцированная сегрегация компонентов в многокомпонентных системах. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Естественное и искусственное старение. Фазовый наклеп.

#### **VII. Сверхпроводимость**

Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры. Основы микроскопической теории. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

#### **VIII. Экспериментальные методы физики**

Методы исследования идеальной и реальной структуры. Рентгенография. Электронография. Электронная микроскопия (просвечивающая и растровая). Сканирующая зондовая микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое рассеяние. Спектроскопия обратного рассеяния Резерфорда. Исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках. Оптические методы исследования.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. Учебник. 3-е изд. М.: Высшая школа, 2000.
2. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела. Учебное пособие. 2-е изд. М., МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008.
3. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: Учебное пособие. Издание 2-е. М., Техносфера, 2012.
4. Елифанов Г.И.. Физика твердого тела. Учебное пособие. 4-е изд., стереотип. М.: Лань, 2011.
5. Акишин А.И., Бондаренко Г.Г., Быков Д.В. и др. Физика воздействия концентрированных потоков энергии на материалы. Учебник. М., МГУ, 2004.
6. Бондаренко Г.Г., Кабанова Т.А., Рыбалко В.В. Материаловедение (под ред. Г.Г.Бондаренко) Учебник. М., Высшая школа, 2007.
7. Паршин А.М., Тихонов А.Н., Бондаренко Г.Г. и др. Радиационная повреждаемость конструкционных материалов. С-Пб, СПбГТУ, 2000.

8. Домбровский Ю.М. Физические свойства металлов и сплавов. Учебное пособие. Ростов-на-Дону, изд.центр ДГТУ, 2004.
9. Физическое материаловедение (под ред. Б.А.Калина). Учебник. В 6-ти томах. М., МИФИ, 2007.
10. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Учебник. Рентгенографический и электронографический анализ. М., Металлургия, 2002.
11. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А. Основы кристаллографии. Учебник. М., Физматлит, 2004.
12. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. М., РАН, 2004.
13. Дмитриев А.В. , Звягин И.П. [Современные тенденции развития физики термоэлектрических материалов](#) // Успехи физических наук, 2010, т. **180**, с. 821–838.
14. Осадько И.С. [Микроскоп ближнего поля как инструмент для исследования наночастиц](#) // Успехи физических наук, 2010, т. **180**, с. 83-87.
15. Успенская Л.С. , Рахманов А.Л. [Динамические магнитные структуры в сверхпроводниках и ферромагнетиках](#) // Успехи физических наук, 2012, т. **182**, с. 681-699.
16. Погребняк А.Д. , Пономарев А.Г. , Шпак А.П. , Куницкий Ю.А. [Применение микро- и нанозондов для анализа малоразмерных 3D материалов, наносистем и нанобъектов](#)// Успехи физических наук, 2012, т. **182**, с. 287-321.
17. Шпатаковская Г.В. [Квазиклассическая модель строения вещества](#) // Успехи физических наук, 2012, т.**182**, с. 457–494.
18. Vojtech D., Fojt J., Joska L., Novak P. Surface treatment of NiTi shape memory alloy and its influence on corrosion behavior // Surface and Coatings Technology, 2010, v. 204, pp. 3895-3901.
19. Osetsky Y.N. Atomistic study of diffusional mass transport in metals // Defects and Diffusion Forum, 2001, v. 188-190, pp. 71-92.
20. Jiao Z., Was G.S. Segregation behavior in proton- and heavy-ion-irradiated ferritic-martensitic alloys // Acta Materialia, 2011, v. 59, pp. 4467 - 4481.
21. Lee Y.J. et al. First-principles study of migrations, restructuring and dissociation energies of oxygen complexes in silicon // Phys.Rev.B, 2002, v.65, p.085205 (1-12).