Министерство просвещения Российской Федерации  
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный педагогический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.В. Корнев

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2023 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

Научная специальность

**1.3.8 Физика конденсированного состояния**

Отрасль наук  
**Физико-математические науки**

**Технические науки**

Воронеж 2023

# Введение

Настоящая экзаменационная программа соответствует утвержденному паспорту научной специальности Физика конденсированного состояния (шифр: 1.3.8).

В основу программы положены следующие дисциплины, читаемые на кафедре общей физики: Физика конденсированного состояния, Физика некристаллических твердых тел.

Кандидатский экзамен по специальности имеет своей целью выявить уровень теоретической и профессиональной подготовки соискателя с точки зрения знания им как общих концепций и методологических вопросов отрасли науки, включая историю ее развития, так и фактического материала в рамках изучаемых ею основных теоретических и практических проблем.

Кандидатский экзамен включает в себя ответы на два вопроса в соответствии с экзаменационными билетами, а также собеседование по вопросам, связанным с диссертационным исследованием.

Критерии оценки ответа соискателя на экзамене:

1. Владение современной информацией по вопросам экзаменационного билета, знание монографий, использование последних публикаций по проблеме, материалов научной периодической печати.
2. Умение сравнивать и анализировать различные подходы к рассматриваемым задачам.
3. Умение доказательно изложить собственную позицию при рассмотрении вопросов билета.
4. Умение подтвердить теоретическое изложение материала примерами из собственной педагогической практики.
5. Умение использовать внутрипредметные и межпредметных связи.

# Вопросы к экзамену

1. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решётка Бравэ. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решётка. Зоны Бриллюэна.

2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Движение дислокаций. Переползание и скольжение. Механизмы образования дислокаций в кристалле. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твёрдых тел.

3. Типы химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки.

4. Аморфные тела – способы получения и дифракционного исследования структуры. Ближний и дальний порядок. Радиус корреляции. Парная атомная функция распределения и ближний порядок.

5. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

6. Колебания решётки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоёмкость решётки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Валлера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

7. Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближения сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твёрдых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоёмкость, поверхность Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.

8. Квазидвумерные системы в полупроводниках: гетероструктуры, МДП-структуры (металл-диэлектрик-полупроводник). Размерное квантование электронного спектра.

9. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий и кремний. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости, p-n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект Ганна.

10. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.

11. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты.

12. Диэлектрики. Эффективное поле. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики.

13. Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Флуктуации. Твёрдые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузионные и бездиффузионные превращения. Переходы металл-диэлектрик в системе электронов. Переход Андерсона. Край подвижности в электронном спектре. Переход Мотта.

14. Сверхпроводимость. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейсснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры. Основы микроскопической и термодинамической теорий. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона.

15. Исследование механических, акустических свойств. Основные методы измерения и исследования механических и акустических свойств. Примеры получаемой информации и особенности ее интерпретации для наиболее практически значимых и распространенных методов исследования.

16. Методы исследования тепловых и термических свойств. Методы термического анализа, термографии, пирометрии, калориметрии, дифференциального термического анализа (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Схемы устройств и экспериментов.

17. Методы исследования термических и механических свойств. Количественное определение энтальпии химических и физических превращений, фазовых переходов, происходящих в твердом теле при плавлении, перестройке кристаллической структуры, кипении, возгонке и испарении.

18. Методы исследования транспортных и электрических свойств. Массоперенос, внутренняя диффузия, самодиффузия, поверхностная диффузия. Основные диффузионные механизмы и уравнения диффузии.

19. Основные особенности и характеристики методов получения аморфных металлов/сплавов. Аморфизация расплава. Критическая скорость охлаждения. Современные представления о структурных особенностях аморфных и аморфно-нанокристаллических металлических сплавов. Структурная релаксация аморфных металлов. Специфика кристаллизации аморфных металлических сплавов.

20. Механические свойства аморфных металлических сплавов. Механизмы пластического деформирования и разрушения аморфных металлических сплавов. Влияние размера зерна на специфику деформирования и разрушения аморфно-нанокристаллических материалов. Механические свойства аморфно-нанокристаллических металлических сплавов. Основные механизмы пластического деформирования аморфных и аморфно-нанокристаллических металлических сплавов.

# Рекомендуемая основная литература

1. [Воронов В.К., Подопделов А.В. Современная физика: Конденсированное состояние](http://www.vixri.ru/?p=3413): Учебное пособие. ‑ М.: Издательство ЛКИ, 2008. ‑ 336 с. <http://www.vixri.ru/?p=3413>
2. Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела. – М.: Физматгиз, 1983.
3. Ашкрофт Н., Мермин П. Физика твёрдого тела. – М.: “Мир”, 1979.
4. Займан Дж. Принципы теории твёрдого тела. Издание второе. – М.: “Мир”, 1966.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.:“Наука”, 1976.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. – М.: “Наука”, 1982.
7. Уэрг У., Томсон Р. Физика твёрдого тела. – М.: “Мир”, 1969.
8. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. – М.:“Мир”. 1972.
9. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. – М.: “Мир”, 1974.
10. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. – М.: “Наука”, 1979.
11. Крокстон К. Физика жидкого состояния. – М.: “Мир”, 1978.
12. Введенский В.Ю., Лилеев А.С., Перминов А.С. Экспериментальные методы физического материаловедения. – М.: Изд. Дом «МИСиС», 2011.
13. Уманский Я.С, Скаков Ю.А. Физика металлов. – М.: Атомиздат, 1978. – 352 с.
14. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов. – М.: Металлургия, 1971. – 496 с.
15. Шубников А.В. Основы оптической кристаллографии. – М.: Издательство академии наук СССР, 1958. – 205 с.
16. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. -М.: Наука. – 1975.
17. Судзуки К., Худзимори Х., Хасимото К. Аморфные металлы/ под Ред. Масумуто Ц. Пер. С япон. – М.: Металлургия, 1987. – 328 с
18. Сафронов И.С. Закономерности формирования механических свойств аморфно-нанокристаллических металлических сплавов, обработанных лазерными импульсами наносекундной длительности. Монография: – Саратов: Ай Пи Ар Медиа, 2019 – 144 с.

# Дополнительная литература

1. Лившиц Б.Г. Металлография. – М.: Металлургия, 1990. – 336 с.
2. Металловедение. Учебник. В 2-х томах. // Коллектив авторов под общей ред. В.С. Золоторевского. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2009.
3. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. / Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
4. Лившиц Б.Г., Крапошин B.C., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
5. Золотаревский B.C. Механические свойства металлов. – М.: МИСиС. 1998, 400 с.
6. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия. 1979. – 496 с.
7. Кривоглаз М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. – Киев: Наукова Думка, 1953. – 408 с.
8. Иванов А.Н., Поляков A.M. Анализ несовершенств кристаллического строения по профилю и интенсивности рентгеновских отражений: Учебное пособие. – М.: МИСиС, 2002. – 78 с.
9. Кринчик Г.С. Физика магнитных явлений. – М.: МГУ, 1985.
10. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма. В 2 тт. – М.: Наука, 1987.
11. Введенский В.Ю., Лилеев А.С., Перминов А.С. Экспериментальные методы физического материаловедения. – М.: Изд. Дом «МИСиС», 2011.
12. Введенский В.Ю., Лилеев А.С. Физические методы исследования. Раздел: Магнитные свойства. – М.: Изд. Дом «МИСиС», 2011.
13. Лившиц Б.Г., Крапошин B.C., Линецкий Я.Л. Физические свойства металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
14. Новые материалы /Сб. под редакцией Ю.С. Карабасова. – М.: МИСиС, 2002.
15. Шаскольская М.П. Кристаллография. – М.: Высшая школа, 1976. – 391 с.
16. Физика твердого тела. Физика полупроводников, физика сегнетоэлектриков и диэлектриков, физика низких температур. Спецпрактикум. Под ред. Струков Б.А. – М.: Изд-вл МГУ, 1983. – 296 с.
17. Майер А.А., Физическая химия твердого тела. Кристаллоптика. Учебное пособие. – М.: МХТИ им. Д.И. Менделеева, 1984. – 84 с.