

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

(подпись) И.С. Огнев

« 23 » мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

«Специальная дисциплина в соответствии с темой диссертации
на соискание ученой степени кандидата наук»

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Форма обучения очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
микроэлектроники и общей физики
от « 17 » апреля 2023 года, протокол №5

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются:

получение фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния; углубленных представлений об электронной и атомно-кристаллической структуре твердых тел, физических свойствах (электронных, магнитных, механических, оптических, тепловых и др.) проводниковых, полупроводниковых и диэлектрических материалов; о взаимосвязи между атомно-электронной структурой, составом и различными физическими свойствами материалов, применяемых в различных технических отраслях; о поведении твердых тел в широком диапазоне температур и давлений, а также методах модификации, определения физических свойств и оценки функциональных характеристик материалов в составе сложных систем.

2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Данная дисциплина является обязательной для освоения и направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине в соответствии с темой диссертации на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния по отрасли наук: физико-математические.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные физические процессы, математический аппарат и физико-математические модели, положенные в основу современных методов исследования в физике конденсированного состояния;

Уметь:

- классифицировать поставленные задачи в соответствии с фундаментальными разделами физики;
- применять полученные знания для анализа теоретических и экспериментальных задач физики конденсированного состояния при вариации входных условий и материалов электроники с различными свойствами;

Владеть:

- современными методами проведения исследований при планировании, осуществлении и критическом анализе результатов самостоятельной научной деятельности в области физики конденсированного состояния.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий и их трудоемкость (в академических часах)					Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
			лекции	практические	лабораторные	консультации	самостоятельная работа	
1	Введение. Предмет, цели и задачи курса. Силы связи в твердых телах. Симметрия твердых тел	4	6	6		1	41	Задания для самостоятельной работы
2	Дефекты в твердых телах. Дифракция в кристаллах. Колебания решетки	4	6	6		1	41	Задания для самостоятельной работы
	Всего за 4 семестр 108 час		12	12		2	82	
3	Тепловые свойства твердых тел. Электронные свойства твердых тел	5	6	6		1	32	Задания для самостоятельной работы
4	Магнитные свойства твердых тел. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел. Сверхпроводимость	5	6	6		1	32	Задания для самостоятельной работы
							18	Кандидатский экзамен
	Всего за 5 семестр 108 час.		12	12		2	82	
	Всего 216 час.		24	24		4	164	

Содержание разделов дисциплины:

Тема 1. Введение. Предмет, цели и задачи курса. Силы связи в твердых телах. Симметрия твердых тел.

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

Тема 2. Дефекты в твердых телах. Дифракция в кристаллах. Колебания решетки

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

Тема 3. Тепловые свойства твердых тел. Электронные свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна-Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

Тема 4. Магнитные свойства твердых тел. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел. Сверхпроводимость

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри-Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера, критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой литературы.

Академическая лекция с элементами лекции-беседы – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Элементы лекции-беседы обеспечивают контакт преподавателя с аудиторией, что позволяет привлекать внимание аспирантов к наиболее важным темам дисциплины, активно вовлекать их в учебный процесс, контролировать темп изложения учебного материала в зависимости от уровня его восприятия.

Проблемная лекция – изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов,

связанные с различными моделями интерпретации изучаемого материала. Проблемная лекция начинается с вопросов, с постановки проблемы, которую в ходе изложения материала необходимо решить. В лекции сочетаются проблемные и информационные начала. При этом процесс познания аспирантом в сотрудничестве и диалоге с преподавателем приближается к поисковой, исследовательской деятельности.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков по закреплению полученных на лекции знаний.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы аспирантов. На консультациях по просьбе аспирантов рассматриваются наиболее сложные разделы дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы аспирантов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения (в случае перехода на дистанционное обучение) используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Физика конденсированного состояния» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы аспирантов по темам дисциплины;
- представлен список литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в случае их проведения в дистанционном формате в режиме онлайн.

6. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

- Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. -М.: Наука, 1978.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=797721&cat_cd=YARSU
- Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. -М.: Высшая школа, 2000.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1268771&cat_cd=YARSU
- Займан Дж. Принципы теории твердого тела. -М.: Наука, 1974.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=748933&cat_cd=YARSU
- Кацнельсон А. Введение в ФТТ. М.: Высшая школа, 1984.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=748192&cat_cd=YARSU
- Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т.1, Т2. -М.: Мир, 1979.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=735833&cat_cd=YARSU
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=736047&cat_cd=YARSU
- Бушманов Б.Н., Хромов Ю.А. Физика твердого тела. -М.: Высшая школа, 1971.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=747606&cat_cd=YARSU

б) дополнительная литература

- Анималу О. Квантовая теория кристаллических твердых тел. -М.: Мир, 1981.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=736574&cat_cd=YARSU
- Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. -М.: Наука, 1979.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=746650&cat_cd=YARSU
- Физика твердого тела: учеб. пособие для вузов. / под ред. А. С. Рудого, А. В. Проказникова; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова, Науч.-метод. совет ун-та – Ярославль, 2009.
www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=607119&cat_cd=YARSU

- Гуревич А. Г. Физика твердого тела: учеб. пособие для вузов. - СПб.: Невский Диалект, 2004.

www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_card.php?rec_id=1429117&cat_cd=YARSU

в) ресурсы сети «Интернет» (при необходимости)

- Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

- Библиотека научных журналов «Физика твердого тела», «Физика полупроводников», «Журнал технической физики», «Письма в журнал технической физики». Журнальный портал ФТИ им. А.Ф. Иоффе. <http://journals.ioffe.ru/>

7. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав следующие помещения:

- учебные аудитории для проведения лекций;
- учебные аудитории для проведения практических занятий;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций;
- учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы.

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ЯрГУ.

Автор:

Профессор, д.ф.-м.н.
(должность, ученая степень)

(подпись)

Зимин С.П.
(Фамилия И.О.)

Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Специальная дисциплина в соответствии с темой диссертации
на соискание ученой степени кандидата наук»
по научной специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Оценочные материалы
для проведения текущей и/или промежуточной аттестации
аспирантов по дисциплине

1. Контрольные задания и (или) иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости

Задания для самостоятельной работы
(могут быть скорректированы в зависимости от
темы диссертационного исследования)

4 семестр

Тема: Силы связи в твердых телах. Симметрия твердых тел.

1. Описать основные структурные и физико-химические параметры материалов, исследуемых в диссертации. Провести комплексный анализ кристаллических решеток изучаемых материалов и соответствующих групп симметрии.
2. Дать характеристику силам связи в исследуемых материалах. Оценить энергии связи различных атомов в твердом теле.

Тема: Дефекты в твердых телах. Дифракция в кристаллах. Колебания решетки

1. Провести анализ основных типов структурных дефектов в исследуемых материалах и описать их влияние на электрические, оптические и другие параметры твердотельного образца.
2. Дать максимально полное описание поведения оптических и акустических фононов и исследуемых материалов и провести анализ их влияния на свойства изучаемых материалов

5 семестр

Тема: Тепловые свойства твердых тел. Электронные свойства твердых тел

1. Описать тепловые свойства материалов, исследуемых в диссертации. Провести анализ тепловых свойств материалов с точки зрения особенностей проведения экспериментальных исследований в диссертации в широком интервале температур.
2. Дать характеристику электронных свойств изучаемых твердых тел. Описать основные экспериментальные факты для проводимости, эффекта Холла, термоЭДС, фотопроводимости, оптического поглощения исследуемых в диссертации материалов.

Тема: Магнитные свойства твердых тел. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел. Сверхпроводимость

1. Дать характеристику магнитным свойствам изучаемых в диссертации материалов. Описать основные магнитные свойства материалов в широком диапазоне внешних воздействий.
2. Описать поглощение света исследуемыми материалами в широком диапазоне длин волн и привести соответствующие обоснования экспериментально наблюдаемым зависимостям.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Кандидатский экзамен по специальной дисциплине проводится устно по экзаменационным билетам. Каждый экзаменационный билет содержит три вопроса. На подготовку к ответу дается от 60 до 120 минут.

Список вопросов к экзамену:

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность.
2. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
3. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием.
4. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO_3 .
5. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена.
6. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.
7. Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность.
8. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве.
9. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
10. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.
11. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
12. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
13. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
14. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
15. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.
16. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
17. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
18. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов.
19. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн.
20. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний.

21. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.
22. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
23. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
24. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
25. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Анггармонические колебания.
26. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
27. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
28. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна-Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
29. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
30. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
31. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
32. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
33. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
34. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
35. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
36. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
37. Спиновые волны, магноны.
38. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.
39. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
40. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
41. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
42. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
43. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера, критическое поле и критический ток.
44. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

2.1 Описание процедуры выставления оценки

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется аспиранту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом дисциплины; осуществляет межпредметные связи; умеет связывать теорию с практикой. Аспирант дает развернутые, полные и четкие ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала. Грамотно использует научную терминологию.

Оценка «Хорошо» выставляется аспиранту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глубиной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются аспирантом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется аспиранту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. При ответах аспирант допускает ошибки в определении и раскрытии отдельных понятий, формулировке положений, которые аспирант затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа аспирант не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется аспиранту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, не устанавливает межпредметные связи; допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов аспиранта.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также аспиранту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.