

**Белорусский государственный университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



А.Л. Толстик

25.05.2017

(дата утверждения)

Регистрационный № УД- 3963 / уч.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СОСТОЯНИЯ И ПРОЦЕССЫ  
В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕДАХ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 04 01 Физика (по направлениям),  
направление специальности  
1-31 04 01-01 Физика (научно-исследовательская деятельность)**

Минск 2017

Учебная программа составлена на основе Образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 01- 2013, утвержденного и введенного в действие постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 30.08.2013 № 88Ж; учебных планов № G31-163/ уч. и № G31b- 174/ уч. от 30.05.2013.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**М.Г. Лукашевич** – профессор кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники  
Физического факультета Белорусского государственного университета  
(протокол № 12 от 12 мая 2017)

Советом физического факультета БГУ  
(протокол № 9 от 25 мая 2017)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа курса "Электронные состояния и процессы в конденсированных средах" разработана для специальности 1-31 04 01 Физика.

*Цель учебной дисциплины* – обучение студентов основам зонной теории энергетического спектра кристаллов, основам влияния электрических и магнитных полей, а также проявления классических и квантовых размерных эффектов на электронные свойства твердых тел. Основные *задачи учебной дисциплины* – выработка умения самостоятельно применять полученные знания, приобретать и расширять знания в области описания электронных состояний и процессов в конденсированных средах.

Специальный курс дает строгое представление о делении веществ на диэлектрики, полупроводники и металлы, базирующееся на зонной теории кристаллических твердых тел. На основании общих положений квантовой механики прослеживается путь и обосновывается возникновение зонного энергетического спектра электронов в кристалле, вводятся основные понятия для описания их свойств в периодическом поле решетки: эффективная масса, квазиимпульс, скорость и ускорение. Изучаются основные теоретические и экспериментальные методы определения зонной структуры и зонная структура важнейших материалов твердотельной электроники.

На основании зонной теории рассматриваются наиболее важные для твердотельной электроники электронные процессы при воздействии на кристалл внешних электрического и магнитного полей. Рассматриваются основные идеи описания фазового перехода диэлектрик-металл, формулируется и обосновывается скейлинговая гипотеза. Заключительная часть спецкурса посвящена рассмотрению электронных процессов в системах пониженной размерности. Рассматриваются классические и квантовые размерные эффекты и их влияние на электрические и оптические характеристики ограниченных кристаллов и электронных систем с пониженной размерностью.

Учебная дисциплина относится к циклу дисциплин специализации, базируется на курсах «Электричество и магнетизм», «Физика атома и атомных явлений», и взаимодействует со следующими дисциплинами: «Методы создания наноструктур и наноматериалов», «Фундаментальные основы нанотехнологий», «Методы диагностики наноструктур и наноматериалов».

*В результате изучения дисциплины студент должен:*

***знать:***

- основные представления о формировании зонной структуры энергетического спектра электронов в твердых телах;
- физику электронных процессов во внешнем электрическом и магнитном полях, а также проявление размерных и спиновых эффектов в наноструктурированных средах без и с магнитным упорядочением;

***уметь:***

- прогнозировать электрические, оптические и гальваномагнитные свойства материалов, исходя из данных об их составе и зонной структуре;

***владеть:***

– основными физическими законами, дающими описание изменения электронных состояний и процессов переноса при изменении электрического, магнитного полей, размерности системы.

*Академические компетенции:*

1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания по физике электронных состояний и процессов в конденсированных средах для решения теоретических и практических задач.

2. Владеть системным и сравнительным анализом.

3. Владеть исследовательскими навыками.

4. Уметь работать самостоятельно.

5. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

6. Обладать навыками устной и письменной коммуникации.

7. Уметь учиться, повышать свою квалификацию в течение всей жизни.

*Социально-личностные компетенции:*

1. Быть способным к социальному взаимодействию.

2. Обладать способностью к межличностным коммуникациям.

3. Быть способным к критике и самокритике (критическое мышление).

4. Уметь работать в команде.

*Профессиональные компетенции:*

1. Применять знания теоретических и экспериментальных основ физики наноматериалов и нанотехнологий, методов исследования физических объектов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.

2. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров функциональных наноматериалов, магнитоэлектронных приборов и технологических процессов их получения.

3. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, научно-технической и патентной литературой.

4. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

5. Применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической и научно-педагогической работы.

6. Использовать новейшие открытия в естествознании, методы научного анализа, информационные образовательные технологии, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.

7. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

Форма получения высшего образования – очная, дневная.

Общее количество часов, отводимое на изучение учебной дисциплины — 144, из них количество аудиторных часов — 58.

Форма получения высшего образования — очная, дневная,

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций и управляемой самостоятельной работы. На проведение лекционных занятий отводится 48 часов, на управляемую самостоятельную работу — 10 часов.

Занятия проводятся на 4-м курсе в 7-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине — экзамен

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **1. Основы зонной теории кристаллических твердых тел**

1.1. Исторические этапы развития электронной теории. Классические представления Друде-Лоренца и квантовые Зоммерфельда. Представления о квазичастицах - основной подход к описанию конденсированного состояния вещества. Статистические свойства электронов. Закон дисперсии для свободных электронов. Плотность разрешенных электронных состояний.

1.2. Электроны в периодическом поле кристаллической решетки.

Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения. Периодичность поля кристаллической решетки. Оператор трансляции и трансляционное свойство волновой функции. Теорема Блоха. Волновая функция для электрона в идеальном кристалле.

1.3. Основные характеристики электрона в периодическом поле решетки. Квазиимпульс. Эффективная масса. Скорость и ускорение электрона в периодическом поле решетки кристалла. Периодичность энергии электрона в кристалле. Понятие о зонах Бриллюэна. Зоны Бриллюэна для плоской квадратной решетки.

1.4. Решение уравнения Шредингера для электрона в периодическом поле в приближении слабой связи. Приближение почти связанного электрона. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.

1.5. Основные теоретические методы расчета и экспериментальные методы определения зонной структуры кристаллических твердых тел. Зонная структура важнейших материалов твердотельной электроники: алмаз, кремний, германий, серое олово. Зонная структура важнейших бинарных и многокомпонентных соединений. Способы управления параметрами зонной структуры твердых тел.

1.6. Локализованные электронные состояния в кристалле. Мелкие и глубокие примесные состояния в кристалле. Примесная зона. Уровни Тамма и поверхностные состояния в реальных кристаллах. Переходы металл-изолятор. Переходы Андерсона и Мотта. Модели структурного беспорядка Андерсона и Лифшица. Минимальная электрическая проводимость в переходе Мотта.

## **2. Электронные процессы во внешнем электрическом поле**

2.1. Полупроводниковые кристаллы в электрическом поле. Основные механизмы переноса зарядов в полупроводниках. Диффузионный, прыжковый, баллистический, туннельный. Дырка и ее основные характеристики.

2.2. Прыжковый механизм переноса заряда. Прыжки на ближайшие локальные центры. Прыжки с переменной длиной прыжка. Законы Мотта и Шкловского-Эфроса. Представление о кулоновской щели в плотности состояний.

2.3. Эффекты Зинера и Френкеля. Разогрев электронов в электрическом поле. Понятие об электронной температуре. Времена релаксации импульса и энергии. Зависимость кинетических коэффициентов от электрического поля.

2.4. Ударная ионизация в собственных и легированных полупроводниках. Нелинейные ВАХ полупроводниковых кристаллов в сильном электрическом поле. S и N-образные ВАХ. Электрические домены и токовые шнуры.

2.5. Функция распределения в сильном электрическом поле. Влияние электрон-электронных столкновений на функцию распределения. Смещенное максвелловское распределение

## **3. Электронные процессы во внешнем магнитном поле**

3.1. Движение и энергетический спектр электронов в однородном постоянном магнитном поле. Плотность разрешенных состояний и энергия Ферми в магнитном поле. Представление о классически слабых, сильных и квантующих магнитных полях. Ультраквантовый предел

3.2. Кинетические явления при диффузионном механизме переноса заряда в классических магнитных полях. Эффекты Холла, магниторезистивный, Эттингаузена и Нернста. Кинетические явления в квантующих магнитных полях. Эффекты магнитного вымораживания и магнитного вскипания. Кинетические явления в режиме прыжковой проводимости.

3.3. Осцилляции кинетических коэффициентов в квантовом пределе. Эффект Шубникова де Гааза, магнитофононный и спинмагнитофононный резонансы. Основные магнитооптические явления и их интерпретация. Электронный диамагнитный и парамагнитный резонансы, межзонное магнитооптическое поглощение

3.4. Магнитные примеси в немагнитных металлах и полупроводниках.

Особенности рассеяния носителей заряда с переворотом спина. Спинорбитальное взаимодействие и рассеяние на магнитных центрах. Спиновый эффект Холла.

3.5. Эффекты Кондо и отрицательного магнитосопротивления на диэлектрической и металлической сторонах перехода диэлектрик-металл.

#### **4. Размерная зависимость электронных состояний и процессов.**

4.1. Классические и квантовые размерные эффекты в ограниченных кристаллах. Основные характеристические длины. Классические размерные эффекты на длине свободного пробега и длине остывания.

4.2. Электронные системы пониженной размерности. Квантование энергетического спектра двумерного электронного газа. Плотность разрешенных состояний и энергия Ферми в двумерной электронной системе.

4.3. Квазиодномерная электронная система и квантовая точка.

Энергетический спектр, плотность состояний и энергия Ферми.

4.4. Электропроводность и эффект Холла в квазидвумерной электронной системе в квантующем магнитном поле

4.5. Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла. Спиновый эффект Холла. Применение эффектов размерного квантования в метрологии. Оптические и магнитооптические свойства электронных систем пониженной размерности.

#### **5. Физические основы мезоскопической физики**

5.1. Особенности электронных состояний и процессов в слабо разупорядоченных электронных системах на металлической стороне перехода диэлектрик-металл. Представление о слабой электронной локализации и антилокализации.

5.2. Квантовая интерференция электронных волн при учете электрон-электронного взаимодействия.

5.3. Основные кинетические явления в режиме слабой локализации. Эффект Холла и знакопеременный магниторезистивный эффект.

5.4. Обоснование и формулировка скейлинговой гипотезы для трех и двумерных электронных систем. Роль спин-орбитального взаимодействия в скейлинговой теории проводимости. Перспективы развития физики и технологии получения низкоразмерных элементов и структур и их использования в электронной технике.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Внеаудиторная УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Аудиторная УСР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Основы зонной теории кристаллических твердых тел</b>	<b>12</b>				<b>2</b>			
1.1	Исторические этапы развития электронной теории. Классические представления Друде-Лоренца и квантовые Зоммерфельда. Представления о квази-частицах - основной подход к описанию конденсированного состояния вещества. Статистические свойства электронов. Закон дисперсии для свободных электронов. Плотность разрешенных электронных состояний	2						[2–4]	Письменный опрос для определения исходного уровня знаний
1.2	Электроны в периодическом поле кристаллической решетки. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближения. Периодичность поля кристаллической решетки. Оператор трансляции и трансляционное свойство волновой функции. Теорема Блоха. Волновая функция для электрона в идеальном кристалле.	2						[2]	
1.3	Основные характеристики электрона в периодическом поле решетки. Квазиимпульс. Эффективная масса. Скорость и ускорение электрона в периодическом поле решетки кристалла. Периодичность энергии электрона в кристалле. Понятие о зонах Бриллюэна. Зоны Бриллюэна для плоской квадратной решетки	2						[2–8]	
1.4.	Решение уравнения Шредингера для электрона в периодическом поле в приближении слабой связи. Приближение почти связанного электрона. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.	2						[2], [11], [16]	
1.5	Основные теоретические методы расчета и экспериментальные методы определения зонной структуры кристаллических твердых тел. Зонная струк-	2						[2], [19],	





	Эффекты Холла, магниторезистивный, Эттинггаузена и Нернста. Кинетические явления в квантовых магнитных полях. Эффекты магнитного вымощивания и магнитного вскипания. Кинетические явления в режиме прыжковой проводимости.							[8], [11], [20], [22],	
3.3	Основные магнитооптические явления и их интерпретация. Электронный диамагнитный и парамагнитный резонансы, межзонное магнитооптическое поглощение. Осцилляции кинетических коэффициентов в квантовом пределе. Эффект Шубникова де Гааза, магнитофононный и спинмагнитофононный резонансы.	2						[23]	
3.4	Магнитные примеси в немагнитных металлах и полупроводниках. Особенности рассеяния носителей заряда с переворотом спина. Спин-орбитальное взаимодействие и рассеяние на магнитных центрах. Спиновый эффект Холла	2						□	
3.5	Эффекты Кондо и отрицательного магнитосопротивления по обе стороны перехода диэлектрик-металл.	2						[1], [25]	
3.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 3					2			Письменное тестирование
<b>4</b>	<b>Размерная зависимость электронных состояний и процессов</b>	<b>10</b>				<b>2</b>			
4.1	Классические и квантовые размерные эффекты в ограниченных кристаллах. Основные характеристические длины. Классические размерные эффекты на длине свободного пробега и длине остывания. Электронные системы пониженной размерности. Квантование энергетического спектра двумерного электронного газа.	2						[13], [15], [21], [22]	
4.2	Плотность разрешенных состояний и энергия Ферми в двумерной электронной системе. Квазиодномерная электронная система и квантовая точка. Энергетический спектр, плотность состояний и энергия Ферми. Электропроводность и эффект Холла в квазидвумерной электронной системе в квантующем магнитном поле.	2						[13], [21], [22]	
4.3	Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла. Спиновый эффект Холла. Применение эффектов размерного квантования в метрологии. Оптические и магнитооптические свойства электронных систем пониженной размерности.	2						[19]	
4.4	Электропроводность и эффект Холла в квазидвумерной электронной системе в квантующем магнитном поле	2						[25]	
4.5	Целочисленный и дробный квантовые эффекты Холла. Спиновый эффект Холла. Применение эффектов размерного квантования в метрологии. Оптические и магнитооптические свойства электронных систем пониженной размерности.	2						[19], [21]	
4.6	Текущий контроль успеваемости студентов по разделу № 4					2			Письменное тести-



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Рекомендуемая литература

#### Основная

1. Абрикосов А. А. Основы теории металлов. М., 1987.
2. Киреев П.С. Физика полупроводников. М., 1975.
3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М., 1978.
4. Аскеров Б.М. Электронные явления переноса в полупроводниках. М., 1985.
5. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. В 2-х томах. М., 1979.
6. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971. –470 с.
7. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988. –608 с.
8. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990. –688 с.
9. Давыдов А.С. Теория твердого тела. М., 1976.
10. Звягин И.П. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках. М., 1984.
11. Зеегер К. Физика полупроводников. М.: Мир, 1977.
12. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., 1978. –791 с.
13. Кравченко А.Ф., Митин В.В., Скок Э.М. Явления переноса в полупроводниковых пленках. Новосибирск: Наука, 1979. –256 с.
14. Кучис Е. В. Гальваномагнитные эффекты и методы их исследования. М.: Радио и связь, 1990. –264 с.
15. Ридли Б. Квантовые процессы в полупроводниках. М.: Мир, 1986.
16. Слэтер Дж. Диэлектрики, полупроводники, металлы. М., 1969.
17. Смит Р. Полупроводники. М., 1982.
18. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. М., 1984.
19. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М., 1985.
20. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука. 1979. –416 с.
21. Имри И. Введение в мезоскопическую физику. – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.
22. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. М.: Физматлит, 2003. –174 с.
23. Цидильковский И. М. Электроны и дырки в полупроводниках. – М.: Наука, 1972. – 640 с.
24. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. – 2 – е изд., перераб. и доп. в 2 – х томах. – М.: Мир, 1982. – 664 с.
25. Лукашевич М. Г. Введение в магнитоэлектронику. –Минск, 2004.-68 с.

### Дополнительная

1. Гроссе П. Свободные электроны в твердых телах. М., 1982.
2. Маделунг О. Теория твердого тела. М.: Наука, 1980. -416 с.; Физика твердого тела. Локализованные состояния. М.: Наука, 1985. –184 с.
3. Марч Н., Паринелло М. Коллективные эффекты в твердых телах и жидкостях. М., 1986.
4. Туннельные явления в твердых телах / Под. ред. Э. Бурштейна и С. Лундквиста. М.: Мир, 1973. –421 с.
5. Свирский М.С. Электронная теория вещества. М., 1980.
6. Квантовый эффект Холла /Под ред. Р. Прейенджа, С. Гирвина. – М.: Мир, 1989. – 404 с.
7. Квантовый эффект Холла: Сб. ст. под ред. Ю. В. Шмарцева. – М.: Мир, 1986. – 232 с.
8. Шур М.С. Современные приборы на основе арсенида галлия. М.: Мир, 1991.; Физика полупроводниковых приборов. В 2-х кн. М.: Мир, 1992. – 479 с.; 295 с.
9. Херман М. Полупроводниковые сверхрешетки. М.: Мир, 1989. –240 с.
14. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры / Под ред. Л. Ченга, К. Плога. – М.: Мир, 1989. –582 с.
10. Гантмахер В. Ф. Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках. – М.: Наука, 1984. –351 с.
11. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974. –472 с.
12. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981. –574 с.
13. Као К., Хуанг В. Перенос электронов в твердых телах. Электрические свойства органических полупроводников. В 2-х частях. М., 1984.
14. Scaling theory of localization – absence of quantum diffusion in 2 dimensions E. Abrahams, P. W. Anderson, D. C. Licciardello, T. V. Ramakrishnan // Phys. Rev. Lett. – 1979. – Vol. 42, № 10. – P. 673–679.
15. Lee P. A., Ramakrishnan T. V. Disordered electronic system // Rev. Mod. Phys. – 1985. – Vol. 57, № 2. – P. 287–333.
16. Lee P. A., Ramakrishnan T. V. Magnetoresistance of weakly disordered electrons // Phys. Rev. B – 1982.- Vol. 26, № 8. – P.4009–4012.
17. Альтшулер Б. Л., Аронов А. Г. К теории неупорядоченных металлов и сильно легированных полупроводников // ЖЭТФ. – 1979. – Т. 30, № 5. – С. 2028–2044.
18. Altshuler B. L., Aronov A.G., Lee P.A. Interaction effect in disordered Fermi system // Phys. Rev. Lett. – 1980. – Vol 44, № 19. – P. 1288–1291.
19. Altshuler B. L., Aronov A.G. Modern problems in condensed matter science / Ed. A. L. Efros, M. Pollak. Amsterdam. 1985. – P. 1 – 135.
20. Bergman G. Weak localization in thin films // Phys. Rep. – 1984. – Vol.107, № 1. – P 1 – 58.

## **Примерные перечни заданий управляемой самостоятельной работы**

### *Рекомендуемые разделы для составления тестовых заданий*

1. Основы зонной теории кристаллических твердых тел
2. Электронные процессы во внешнем электрическом поле
3. Электронные процессы во внешнем магнитном поле
4. Размерная зависимость электронных состояний и процессов
5. Физические основы мезоскопической физики

### *Примерная тематика реферативных работ*

1. Сравнительный анализ основных теоретических методов расчета зонной структуры.
2. Локализованные электронные состояния и образование примесной зоны.
3. *N*- и *S*-образные нелинейные ВАХ полупроводниковых материалов.
4. Электронная температура.
5. Резонансные явления в магнитном поле.
6. Сравнительный анализ описания магниторезистивного эффекта при разных механизмах переноса заряда.
7. Спиновый эффект Холла.
8. Дробный квантовый эффект Холла.
9. Классические и квантовые размерные эффекты.
10. Размерный эффект на длине остывания.
11. Эффект Кондо.
12. Спин-зависимое туннелирование.
13. Спин-зависимое рассеяние.
14. Оптические характеристики электронных систем пониженной размерности.
15. Основные физические идеи мезоскопической физики.
16. Эффект Аронова – Бома.

### **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Тестовые задания по разделам дисциплины;
2. Защита реферативных работ.
3. Устные опросы.

### **Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации**

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать тестовые задания по разделам дисциплины, защиту реферативных работ, устные опросы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнитель-

ное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тестирование проводится в письменной форме. Каждый из письменных тестов включает в себя 10-40 заданий в открытой форме. На выполнение теста отводится 90 мин. По согласованию с преподавателем при подготовке ответа разрешается использовать справочные и учебные издания. Оценка каждого из тестов проводится по десятибалльной шкале, в соответствии с табл. 1.

Таблица 1 — Критерии оценки теста

Оценка	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Процент от максимально возможной суммы баллов	≥ 95%	≥ 90%, но < 95%	≥ 85%, но < 90%	≥ 80%, но < 85%	≥ 70%, но < 80%	≥ 60%, но < 70%	≥ 50%, но < 60%	≥ 30%, но < 50%	≥ 10%, но < 30%	< 10 %

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за каждое из письменных тестирований и оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена.

Экзаменационная оценка ( $O_{\text{Э}}$ ) и оценка текущей успеваемости ( $O_{\text{ТУ}}$ ) служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине ( $O_{\text{Р}}$ ), которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости:  $K_{\text{ТУ}} = 0,4$ ; для экзаменационной оценки:  $K_{\text{Э}} = 0,6$ . Расчет проводится по формуле:

$$O_{\text{Р}} = K_{\text{ТУ}}O_{\text{ТУ}} + K_{\text{Э}}O_{\text{Э}}.$$