





## Содержание

1. Паспорт фонда оценочных средств
2. Перечень формируемых компетенций
  - 2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной
3. Содержание оценочных средств по дисциплине
  - 3.1. Виды оценочных средств
  - 3.2. Содержание оценочных средств
4. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации
  - 4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации
  - 4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств
  - 4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций



## 1. ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Направление подготовки: 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль): Телекоммуникационные системы и информационные технологии

Дисциплина: Физическая электроника

Семестр: 6

Форма промежуточной аттестации: экзамен

Система оценивания: оценивание результатов осуществляется в рамках 5-балльной системы с использованием балльно-рейтинговой системы.

## 2. ПЕРЕЧЕНЬ ФОРМИРУЕМЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

### 2.1. Компетенции, закреплённые за дисциплиной

Изучение дисциплины «Физическая электроника» направлено на формирование следующих компетенций:

Коды компетенции (по ФГОС)	Содержание компетенций согласно ФГОС	Индикаторы достижения компетенций согласно ОПОП	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-1	Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	ОПК-1.1. Обладает базовыми знаниями, полученными в области физики и радиофизики. ОПК-1.2. Демонстрирует умение решать задачи, формулируемые в рамках физики и радиофизики. ОПК-1.3. Имеет навыки использования основных понятий, теорем, законов физики и радиофизики для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности.	Для достижения индикатора ОПК-1.1: Знать базовые понятия, полученные в области физики и радиофизики (физические принципы работы электронных приборов, технические характеристики и элементную базу генераторных, усилительных и модуляционных устройств различных диапазонов). Для достижения индикатора ОПК-1.2: Уметь решать задачи, формулируемые в рамках физики и радиофизики (применять на практике электронные приборы). Для достижения индикатора ОПК-1.3: Владеть навыками использования основных понятий, теорем, законов физики и радиофизики для решения задач профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности (методами расчета основных характеристик электронных приборов).



### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

#### 3.1 Виды оценочных средств

№ п/п	Код компетенции/ планируемые результаты обучения	Контролируемые темы/ разделы	Наименование оценочного средства для текущего контроля	Наименование оценочного средства на промежуточной аттестации/№ задания
1.	ОПК-1	Основы зонной теории твердых тел. Статистика электронов и дырок в полупроводниках и металлах	Типовые контрольные вопросы для текущего контроля, отчет за лабораторную работу	Тест (Раздел 1); вопросы к экзамену №1-8
		Эмиссионная электроника. Физика электронных вакуумных ламп	Типовые контрольные вопросы для текущего контроля, отчет за лабораторную работу	Тест (Раздел 2); вопросы к экзамену №9-18
		Электрический ток в газах	Типовые контрольные вопросы для текущего контроля, отчет за лабораторную работу	Тест (Раздел 3); вопросы к экзамену №19-24.
		Электронная оптика	Типовые контрольные вопросы для текущего контроля	Тест (Раздел 4); вопросы к экзамену №25-28.
		Термоэлектродвижущая сила в металлах и полупроводниках	Типовые контрольные вопросы для текущего контроля, отчет за лабораторную работу	Тест (Раздел 5); вопросы к экзамену №29-30.

#### 3.2 Содержание оценочных средств

##### Контрольные вопросы для текущего контроля:

1. Объяснить, почему в газоразрядной плазме температура электронов намного выше температуры ионов.
2. Что такое электронная плазменная частота? Чем она определяется и как рассчитывается?



Радиус Дебая.

3. Как, используя зондовый метод, определить потенциал плазмы в месте расположения зонда?
4. Виды самостоятельного разряда. Как поддерживается самостоятельный разряд в газоразрядных приборах?
5. Что такое проницаемость и как она связана со статическим коэффициентом усиления трехэлектродной вакуумной лампы?
6. Анодные и анодно-сеточные характеристики вакуумных триодов. Уравнение лампы.
7. Как связана плотность тока эмиссии с температурой?
8. Каким законам подчиняется ток в вакуумном диоде при положительном и отрицательном напряжениях на аноде?
9. Объяснить, почему и как по вольт-амперным характеристикам диода при отрицательном напряжении на аноде можно найти закон распределения термоэлектронов по скоростям.
10. Каков физический смысл интегральной и дифференциальной кривых распределения? Какова связь этих кривых с вероятностными характеристиками?
11. На чем основан метод определения температуры катода по вольт-амперной характеристике вакуумного диода?
12. Что такое квантовый выход фотокатода и как его определить, зная чувствительность фотокатода?
13. Из каких компонент складывается темновой ток фотоэлектронного умножителя и от чего он зависит?
14. Почему наряду с энергетическими единицами, характеризующими распределение лучистой энергии, существуют светотехнические единицы?
15. В каких единицах измеряются энергетические и светотехнические величины? Как перевести единицы измерения из одной системы в другую?
16. Как различаются полупроводники, металлы и изоляторы по электропроводности? Какова зонная структура изолятора, проводника и полупроводника?
17. Что такое дырка с точки зрения зонной теории?
18. Объясните возникновение локальных энергетических уровней в кристалле.
19. Объясните механизм собственной и примесной проводимостей у полупроводников.
20. Как подвижность носителей заряда зависит от температуры в полупроводниках?
21. Объясните физический смысл энергий активации  $E_g$  и  $E_{pr}$  и температурного коэффициента сопротивления. Как они находятся экспериментально?
22. Почему температурный коэффициент сопротивления для полупроводников дается в справочниках для определенного температурного интервала?
23. Каковы причины возникновения термо-э.д.с.?
24. Как рассчитывается термо-э.д.с. в проводниках и полупроводниках без наличия контактов с другими материалами?
25. Как вычисляется внутренняя контактная разность потенциалов?
26. Как вычисляется внешняя контактная разность потенциалов?
27. Изобразите распределение потенциала в цепи, составленной из двух проводников при одинаковой температуре спаев.
28. Изобразите распределение потенциала в цепи, составленной из двух проводников при различных температурах спаев.
29. Как вычисляется термо-э.д.с. цепи, составленной из двух проводников?
30. Почему в металлах термо-э.д.с. имеет гораздо меньшие значения, чем в полупроводниках?

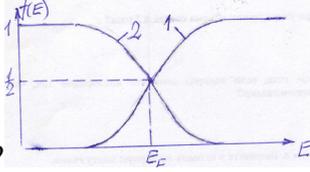
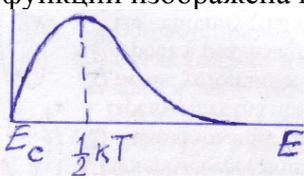


Задания к лабораторным работам студенты выполняют в течение семестра в ходе лабораторных занятий и в форме самостоятельной работы. В течение семестра студент должен сдать отчет по каждой из выполненных лабораторных работ. Отчет подразумевает выполнение всех заданий в виде таблиц, графиков, проведения расчетов и подведения итогов проделанной работы – написания выводов. Отчет по работе считается сданным во время, если он сдан в течение месяца после выполнения лабораторной работы.

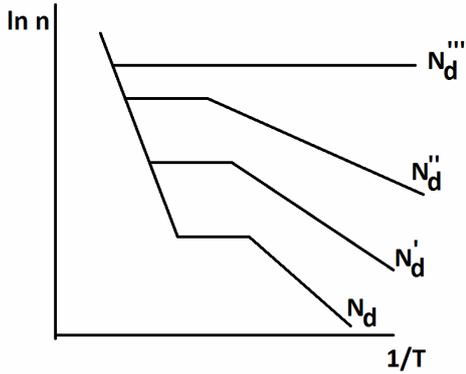
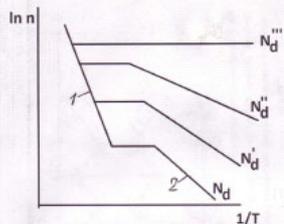
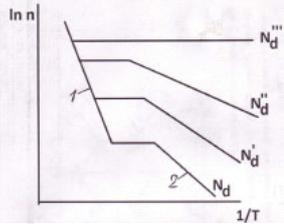
### База тестовых вопросов:

№ п/п	Формулировка вопроса	Варианты ответов
Раздел 1. Основы зонной теории твердых тел. Статистика электронов и дырок в полупроводниках и металлах		
1	Условия делокализации электронов в металлах	1. Высота потенциального барьера в кристалле должна быть ниже уровня валентного электрона в изолированном атоме 2. Высота потенциального барьера в кристалле должна быть выше уровня валентного электрона в изолированном атоме
2	Чем ниже расположен уровень валентного электрона, тем	1. шире зона разрешенных значений энергии 2. уже зона разрешенных значений энергии
3	Наличие верхней энергетической зоны, которая заполнена лишь частично, присуще	1. металлам 2. диэлектрикам 3. полупроводникам
4	Чем отличаются металлы от диэлектриков по строению и расположению энергетических зон?	1. шириной запрещенной зоны 2. степенью заполнения электронами верхней зоны электронами
5	Почему металлы хорошо проводят электрический ток, а диэлектрики нет?	1. потому что находящиеся в зоне проводимости электроны имеют возможность переходить из занятых состояний на свободные 2. потому что у диэлектриков ширина запрещенной зоны большая, а у металлов маленькая
6	Каково направление оси энергии для электронов в зоне проводимости	1. От дна зоны к потолку 2. От потолка зоны ко дну 3. От дна зоны вниз в запрещенную зону
7	Каково направление оси энергии для дырок в валентной зоне	1. От потолка зоны вверх в зону проводимости 2. От потолка зоны ко дну 3. От потолка зоны вниз ко дну зоны
8	Назовите порядок величины энергии связи пятого («лишнего») электрона валентной	1. 0,01 эВ 2. 0,1 эВ

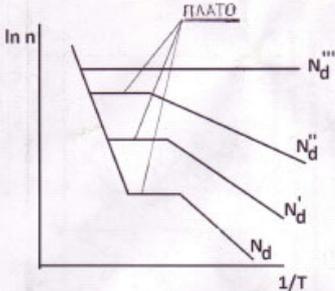
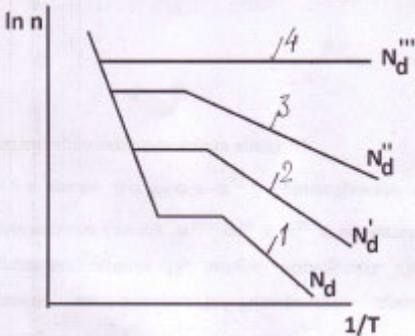


	оболочки пятиявалентного мышьяка, замещающего германий в кристаллической решетке германия	3. 1 эВ 4. 10 эВ
9	Где находится донорный энергетический уровень невырожденного полупроводника	1. В зоне проводимости 2. В валентной зоне 3. В запрещенной зоне
10	Где находится акцепторный энергетический уровень невырожденного полупроводника	1. В зоне проводимости 2. В валентной зоне 3. В запрещенной зоне
11	Запишите функцию распределения (вероятность заполнения состояний) электронов - функцию Ферми-Дирака	1. $\frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1}$ 2. $\frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1}$
12	Запишите функцию распределения (вероятность заполнения состояний) дырок.	1. $\frac{1}{e^{\frac{E_F-E}{kT}} + 1}$ 2. $\frac{1}{e^{\frac{E-E_F}{kT}} + 1}$
13	Какая из кривых является функцией распределения дырок по состояниям? 	1. №2 2. №1
14	Какая из функций изображена на рисунке? 	1. Функция Ферми-Дирака 2. Полная функция распределения электронов в зоне проводимости 3. Функция плотности состояний электронов
15	Чему равна концентрация электронов собственном полупроводнике	1. $n = \sqrt{N_c N_v} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}}$ 2. $n = \sqrt{\frac{N_c N_v}{2}} e^{-\frac{E_{nd}}{2kT}}$
16	Где расположен уровень Ферми в собственном полупроводнике?	1. Под дном зоны проводимости 2. Над потолком валентной зоны 3. В середине запрещенной зоны
17	Где расположен уровень Ферми в донорном невырожденном полупроводнике?	1. Под дном зоны проводимости 2. Над потолком валентной зоны 3. В середине запрещенной зоны
18	Где расположен уровень Ферми в	1. Под дном зоны проводимости

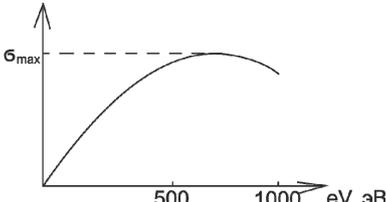
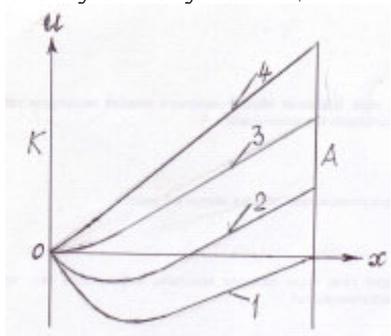
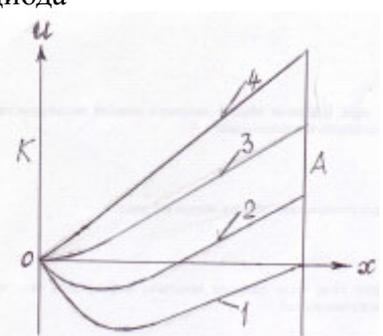


	акцепторном невырожденном полупроводнике?	2. Над потолком валентной зоны 3. В середине запрещенной зоны
19	<p>На рисунке приведено семейство зависимостей логарифма концентрации электронов от обратной температуры при различных значениях концентрации доноров <math>N_d</math>. Как последние соотносятся между собой?</p> 	1. $N_d < N_d' < N_d'' < N_d'''$ 2. $N_d > N_d' > N_d'' > N_d'''$
20	<p>На рисунке приведено семейство зависимостей логарифма концентрации электронов от обратной температуры при различных значениях концентрации доноров <math>N_d</math>. Чем определяется наклон зависимости <math>\ln n - 1/T</math> на участке 1?</p> 	1. Энергией ионизации донора $E_{ид}$ 2. Шириной запрещенной зоны $E_g$
21	<p>На рисунке приведено семейство зависимостей логарифма концентрации электронов от обратной температуры при различных значениях концентрации доноров <math>N_d</math>. Чем определяется наклон зависимости <math>\ln n - 1/T</math> на участке 2?</p> 	1. Энергией ионизации донора $E_{ид}$ 2. Шириной запрещенной зоны $E_g$
22	На рисунке приведено семейство зависимостей логарифма концентрации электронов от обратной температуры при	1. Концентрацией донорной примеси 2. Шириной запрещенной зоны $E_g$ 3. Энергией ионизации донора $E_{ид}$



	<p>различных значениях концентрации доноров <math>N_d</math>. Чем определяется концентрация электронов области плато?</p> 	
23	<p>На рисунке приведено семейство зависимостей логарифма концентрации электронов от обратной температуры при различных значениях концентрации доноров: <math>N_d &lt; N_d' &lt; N_d'' &lt; N_d'''</math>. Почему с увеличением концентрации изменяется наклон зависимости <math>\ln n - 1/T</math> на участках 1, 2, 3 и 4?</p> 	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Потому что уменьшается энергия ионизации донора <math>E_{ид}</math></li><li>2. Потому понижается энергия дна зоны проводимости <math>E_c</math>.</li><li>3. Энергией ионизации донора <math>E_{ид}</math></li></ol>
Раздел 2. Эмиссионная электроника. Физика электронных вакуумных ламп		
24	<p>Что в формуле Эйнштейна для фотоэффекта <math>h\nu = \frac{m_e v_m^2}{2} + \Phi</math> подразумевается под максимальной скоростью <math>v_m</math>?</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Это максимальная скорость электронов в распределении электронов по скоростям.</li><li>2. Это скорость электрона, не испытавшего рассеяния</li></ol>
25	<p>Почему в металлах коэффициент вторичной электронной эмиссии значительно меньше, чем в полупроводниках.</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Потому что в металлах первичные электроны проникают на большую по сравнению с полупроводниками глубину, благодаря чему при движении вторичных электронов к поверхности происходит большая потеря энергии.</li><li>2. Потому что в металлах происходит рассеяние энергии вторичных электронов на электронах проводимости.</li></ol>



26	Какому условию удовлетворяет максимум на зависимости коэффициента вторичной эмиссии $\sigma$ от энергии первичных электронов $eV$ ? 	1. Энергия первичных электронов равна энергии вторичных электронов 2. Увеличение числа вторичных электронов за счет увеличения глубины проникновения равно уменьшению числа вторичных электронов за счет потерь при рассеянии
27	Из каких материалов изготавливают диоды в фотоэлектронных умножителях?	1. Из металлов 2. Из примесных полупроводников 3. Из диэлектриков
28	Какие потенциальные кривые в вакуумном диоде соответствуют току насыщения на  ВАХ диода	1. №1, №2 2. №3, №4 3. №1, №2, №3, 4. №2, №3, №4 5. №1 6. №2, №3
29	Какие потенциальные кривые в вакуумном диоде соответствуют закону $3/2$ на ВАХ диода 	1. №1, №2 2. №3, №4 3. №1, №2, №3, 4. №2, №3, №4 5. №1 6. №2, №3
30	Что характеризует проницаемость сетки триода?	1. Степень проникновения электронов в пространство между сеткой и анодом 2. Степень проникновения электрического поля анода в пространство между сеткой и катодом
31	$\mu$ - статический коэффициент усиления, $S$ - крутизна, $R_i$ - внутреннее сопротивление триода. Записать внутреннее уравнение лампы	1. $\mu = S/R_i$ 2. $\mu = SR_i$ 3. $S = \mu R_i$
32	Как связаны между собой статический	1. $\mu = \ln D$



	коэффициент усиления $\mu$ и проницаемость сетки триода $D$ ?	2. $\mu = 1/D$ 3. $\mu = D^2$
Раздел 3. Электрический ток в газах		
33	$R$ – скорость рекомбинации, $n$ – число пар ионов и электронов, $r$ – коэффициент рекомбинации частиц в газе. Как связаны между собой величины $R$ , $n$ и $r$ ?	1. $R = r \cdot n$ 2. $R = r \cdot n^2$ 3. $r = Rn$
34	$\bar{\lambda}$ – средняя длина свободного пробега электрона в газе. Записать выражение для вероятности, того что фактическая длина свободного пробега электрона будет больше $x$ .	1. $1 - e^{-\frac{x}{\bar{\lambda}}}$ 2. $e^{-\frac{x}{\bar{\lambda}}}$ 3. $e^{\frac{x}{\bar{\lambda}}}$ 4. $1 - e^{\frac{x}{\bar{\lambda}}}$
Раздел 4. Электронная оптика		
35	Как изменяют оптическую силу электронных одиночных линз?	1. Меняют геометрию крайних электродов 2. Меняют диаметр отверстия в центральном электроде (диафрагме) 3. Меняют напряжение на электродах
36	Что произойдет, если направление электронного луча, проходящего через бипотенциальную линзу, изменить на противоположное (поменять вход и выход)	1. Ничего не изменится 2. Линза превратится из увеличивающей в рассеивающую, или наоборот
37	Можно ли, не меняя конструкции, превратить электронную одиночную линзу из увеличивающей в рассеивающую	1. Можно 2. Нельзя
38	Почему в электронном микроскопе полезное увеличение не достигает теоретического предела в 150 – 200 млн?	1. Потому, что на электронные пушки нельзя подавать требующиеся для этого весьма высокие напряжения 2. Потому что электронные линзы обладают большой сферической аберрацией

### Вопросы к экзамену:

1. Зоны разрешенных значений энергии в кристалле. Заполнение зон электронами и деление тел на металлы, диэлектрики и полупроводники.
2. Собственные полупроводники. Локальные уровни в запрещенной зоне.
3. Функция распределения в статистике Ферми-Дирака. Функция плотности состояний.
4. Концентрация электронов и дырок в полупроводниках.
5. Положение уровня Ферми и концентрация свободных носителей заряда в собственных полупроводниках.
6. Статистика электронов в примесных полупроводниках: донорный полупроводник.
7. Статистика электронов в примесных полупроводниках: акцепторный полупроводник.
- Закон действующих масс. Сильно легированные полупроводники. Компенсированные полупроводники.
8. Статистика электронов в металлах.
9. Поверхностный потенциальный барьер для электронов в металле.



10. Формула для плотности тока термоэлектронной эмиссии (формула Ричардсона-Дешмена).
11. Эффект Шоттки.
12. Автоэлектронная эмиссия.
13. Фотоэлектронная эмиссия: основные закономерности, процессы, квантовый выход.
14. Фотоэлектронная эмиссия из металлов, полупроводников и диэлектриков.
15. Вторичная электронная эмиссия. Фотоэлектронный умножитель.
16. Вакуумный диод: вольт-амперная характеристика, закон степени трех вторых, параметры диодов.
17. Трехэлектродные лампы: замена триода эквивалентным диодом, характеристики, параметры, внутреннее уравнение лампы, межэлектродные емкости.
18. Тетроды и пентоды.
19. Ионизация газов. Упругие и неупругие столкновения. Длина свободного пробега. Эффективное сечение взаимодействия. Скорости генерации и рекомбинации.
20. Несамостоятельный разряд в газе. Экспериментальное определение коэффициента рекомбинации. Распределение электронов по длинам свободного пробега.
21. Лавинный разряд. Явление усиления тока при наличии ионизирующих соударений.
22. Самостоятельный разряд: Лавинный разряд при объемной ионизации электронами и гамма-процессах на катоде.
23. Зажигание самостоятельного разряда. Развитие и установление самостоятельного разряда.
24. Напряжение зажигания самостоятельного разряда. Формы самостоятельного разряда.
25. Электронная оптика.
26. Движение электрона в однородном электрическом поле. Электростатическая электронная линза.
27. Линзы-диафрагмы, бипотенциальные и одиночные линзы. Магнитные линзы.
28. Устройство электронного микроскопа. Разрешающая сила и увеличение электронного микроскопа.
29. Электронная спектроскопия.
30. Физика поверхности.

#### **4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

##### **4.1. Порядок проведения промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится в два этапа: в форме тестирования и в форме экзамена.

Первый этап промежуточной аттестации представляет собой тестирование, проводимое во время лекционных занятий.

Второй этап промежуточной аттестации представляет собой экзамен: ответы на вопросы экзаменационного билета.

##### **4.2. Критерии оценивания промежуточной аттестации по видам оценочных средств**

Максимальный балл за **посещение лекционных занятий** – 10.

**На первом этапе промежуточной аттестации – тестировании** студент отвечает на вопросы теста во время проведения лекционного занятия. Всего вопросов в тесте 38. Критерий оценивания теста: каждый правильный ответ – 1 балл. Максимальное количество



баллов – 38. Чтобы тест был зачтен, студент должен набрать минимум 20 баллов. Если тест не зачтен, то до второго этапа экзамена студент не допускается.

Оценка	Зачтено	Не зачтено
Баллы	38-20 баллов	19-0 баллов
Уровень освоения проверяемых компетенций	базовый	недостаточный

**На втором этапе промежуточной аттестации – экзамене** студент отвечает на вопросы экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса. Время подготовки к ответу на вопросы билета – 60 минут. Во время подготовки можно использовать справочные материалы. Максимальный балл за ответы на вопросы билета – 90 баллов.

Критерии оценивания теоретических вопросов:

Характеристики ответа	Баллы	Уровень освоения проверяемых компетенций
Отвечил на оба вопроса билета, воспроизведя соответствующие математические выкладки и логические рассуждения, студент правильно обосновывает принятые решения. Возможны несущественные ошибки.	80-90	высокий
Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, но при этом допускаются негрубые ошибки при выводе формул или отсутствие некоторых элементов вывода.	65-80	средний
Знает «теоретический минимум», т.е. отвечает на вопрос базового уровня и знает основные понятия, соотношения (без вывода), название и физический смысл величин по другим вопросам билета.	45-65	базовый
Не может ответить на вопрос базового уровня	0	недостаточный

Особенности проведения процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обозначены в рабочей программе дисциплины (модуля).

#### **4.3. Результаты промежуточной аттестации и уровни сформированности компетенций**

При подведении итогов учитываются результаты текущей аттестации. Полученные за текущую аттестацию баллы суммируются с баллами, полученными за каждый этап при прохождении промежуточной аттестации.

Критерии оценивания экзамена:

0-65 баллов - неудовлетворительно (2);

65-90 баллов - удовлетворительно (3);

90-117 баллов - хорошо (4);

118-138 баллов - отлично (5).



1. Высокий уровень сформированности компетенций соответствует оценке «отлично»
2. Средний уровень соответствует оценке «хорошо»
3. Базовый уровень соответствует оценке «удовлетворительно»
4. Низкий уровень соответствует оценке «неудовлетворительно»



**Фонд оценочных средств дисциплины (модуля) одобрен и рекомендован:**

Проректор по учебной работе                      утверждено 24.02.25                      А.А. Саламатов

Ученым советом физического факультета

Протокол заседания № 05 от 06.02.2025

Председатель Ученого совета  
физического факультета

согласовано

М.А. Загребин

**Заседанием кафедры радиофизики и электроники**

Протокол заседания № 07 от 04.02.2025

Заведующий кафедрой

согласовано

А.В. Бутаков

Автор (составитель)

В.М. Чернов

**Структура рабочей программы соответствует приказу ректора ФГБОУ ВО «ЧелГУ»  
от «13» апреля 2021 г. № 247-1**