

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана химического факультета,  
профессор РАН



/С.С. Карлов/

«30» августа 2025 г.

**ОЦЕНОЧНЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ (ФОС)  
для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

**Колебания и волны. Оптика**

**Уровень высшего образования:**  
Бакалавриат

---

**Направление подготовки (специальность):**

04.03.01 Химия

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
Общая химия

---

**Форма обучения:**

очная

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методической комиссией факультета  
(протоколы №3 от 13.05.2019, №23 от 25.03.2025 г.)

Москва 2025

ФОС дисциплины разработан в соответствии с ФГОС ВО для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки / специальности 04.03.01 «Химия» (программа бакалавриата), утвержденного приказом Минобрнауки от 17 июля 2017 г. №671. Направленность (профиль) основной профессиональной образовательной программы высшего образования, реализуемой в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом, утвержден приказом МГУ № 1061-19/010-ОСН от 30.08.2019 г.

ФОС рассмотрены и одобрены Учебно-методической комиссией факультета (протокол №16 от 07.06.2023) на основании рекомендаций Учебно-методической комиссии физического факультета (кафедра общей физики и молекулярной электроники).

Год (годы) приема на обучение 2022, 2023, 2024, 2025

## 1. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля) Колебания и волны. Оптика

Компетенция	Индикатор достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
<p><b>ОПК-4</b> (на уровне бакалавриата) Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач</p>	<p><b>ОПК-4.1</b> Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности</p>	<p><b>Знать:</b> основные методы решения задач курса общей физики  <b>Уметь:</b> использовать полученные базовые знания разделов Колебания и волны. Оптика курса общей физики при выборе физических методов изучения химических объектов  <b>Уметь:</b> использовать полученные базовые знания разделов Колебания и волны. Оптика курса общей физики при интерпретации результатов физических методов исследования химических объектов  <b>Владеть:</b> навыками выделения физической составляющей в химических задачах с последующим использованием стандартных подходов решения таких задач в физике</p>
	<p><b>ОПК-4.2</b> Оценивает возможные источники ошибок при проведении физического эксперимента и достоверность данных</p>	<p><b>Знать:</b> источники ошибок основных физических методов, используемых при решении химических задач  <b>Уметь:</b> оценивать корректность значений физических величин, получаемых экспериментально  <b>Уметь:</b> оценивать возможные источники ошибок и достоверность полученных данных  <b>Владеть:</b> навыками практической работы с физическими приборами</p>
	<p><b>ОПК-4.3</b> Предлагает математические и (или) физические модели химических процессов</p>	<p><b>Знать:</b> типичные физические модели, их ограничения и границы их применимости при описании волновых явлений  <b>Знать:</b> основные волновые явления, а также методы их теоретического описания и способы использования в физических приборах  <b>Уметь:</b> проводить анализ и аппроксимацию результатов физических опытов</p>

## 2. Оценочные средства для текущего контроля и самостоятельной работы

### 2.1. Текущий контроль

#### Образцы контрольных вопросов

1. Напишите дифференциальное уравнение, описывающее свободные колебания пружинного маятника в отсутствие затухания и при наличии сил вязкого трения.
2. Запишите дифференциальное уравнение для вынужденных колебаний в контуре.
3. Что такое резонанс напряжений в последовательном контуре?
4. Что такое квазистационарный переменный ток?
5. Что такое интерференция волн?
6. Опишите интерференционную схему Юнга.
7. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля.
8. Как строится векторная диаграмма для случая дифракции Френеля на круглом отверстии и круглом диске? Как определить интенсивность света в центре дифракционной картины в этих случаях с помощью «спирали Френеля»?
9. Как строится векторная диаграмма для случая дифракции Фраунгофера на одной щели? Каков физический смысл каждого вектора на этой диаграмме? Чем определяется его длина; угол поворота?
10. Что такое дифракционные ограничения разрешающей способности оптических приборов?
11. Назовите типы поляризации света? Что означает тот или иной тип поляризации? Какой свет называется естественным; частично поляризованным?
12. Что такое двулучепреломление? Что такое главная оптическая ось двулучепреломляющего кристалла?
13. Что такое пластинка « $\lambda/4$ »; « $\lambda/2$ »?

### 2.2. Самостоятельная работа (примеры задач для самоконтроля)

#### Раздел «Колебания и волны»

1. Рыбка перемещается вдоль стенки аквариума по закону:  $x(t) = 0,2 \cos \omega t$  (м). Найти среднюю величину модуля скорости  $v$  и модуль средней скорости  $|v_{cp}|$  рыбки за один цикл.
2. Грузик подвешен на нерастяжимой нити, верхний конец которой перемещают по вертикали по закону:  $y(t) = A \sin \omega t$ . Величина  $A$  постепенно

растет. При каких минимальных  $A$  колебания грузика станут негармоническими? В каких точках начнется отклонение от гармонического закона колебаний грузика?

3. Рассмотрим ситуацию, моделирующую процесс столкновение атома и молекулы. Первоначально система, описанная в задаче 2.3, неподвижна и пружинка не деформирована. Первому шарикю сообщается импульс  $p_0 = m_1 v_0$  в сторону второго (удар налетающего атома). Определите скорость  $v_c$  центра масс системы, и частоту  $\omega_0$  возникающих колебаний.
4. Потенциальная энергия частицы массы  $m$  в одномерном силовом поле зависит от её координаты  $x$  по закону  $U(x) = U_0(1 - \cos ax)$ ,  $U_0$  и  $a$  – постоянные. Найдите частоту малых колебаний этой частицы около положения равновесия.
5. Физический маятник представляет собой шар радиуса  $R = 2/11$  м, висающий на тонком невесомом стержне длины  $l = R$ . В начальный момент времени маятнику сообщили угловую скорость  $\Omega = 0,25$  рад/с. Найдите зависимость от времени угла отклонения маятника от вертикали  $\alpha(t)$ .
6. Цилиндрический поплавок высоты  $h = 2$  см плавает на поверхности воды. Определите период малых колебаний поплавка по вертикали, которые возникают, если его слегка погрузить в воду и отпустить. Плотность материала поплавок  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.
7. На середине натянутой струны длины  $l = 1$  м укреплен шарик массой  $m = 50$  г. Найдите частоту малых поперечных колебаний этого шарика. Силу натяжения струны считать постоянной и равной  $M = 20$  Н. Массой струны и силой тяжести пренебречь.
8. Конденсатор ёмкости  $C$ , заряженный до напряжения  $U_0$ , замыкается на катушку с индуктивностью  $L$ . Найдите закон изменения со временем заряда на конденсаторе  $q(t)$ . Чему равна амплитуда  $I_m$  силы тока в этой цепи? Активным сопротивлением пренебречь.
9. Однородный стержень массы  $m = 1$  кг совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку  $O$ . Правый конец стержня подвешен на невесомой пружине жёсткости  $k = 300$  Н/см. Найдите частоту  $\omega_0$  колебаний стержня, если в положении равновесия он горизонтален. Трением в шарнире пренебречь.
10. Известно, что частота собственных колебаний молекулы  $HF^{19}$   $\omega_0 = 7,8 \cdot 10^{14}$  рад·с<sup>-1</sup>. Определите частоту собственных колебаний молекулы  $HJ^{127}$ , если известно, что величины второй производной от потенциальной энергии молекулы по координате вблизи минимумов потенциальной энергии отличаются для этих молекул в  $n = 3$  раза. Для какой молекулы величина второй производной больше и по чему?
11. Определите количество нормальных мод линейной молекулы  $N_2O$ . Назовите типы колебаний этой молекулы.
12. Найдите отношение частот симметричных и антисимметричных валентных колебаний линейной молекулы  $CO_2$ .
13. Цепь переменного тока состоит из последовательно соединённых резистора с сопротивлением  $R = 80$  Ом, катушки индуктивности  $L = 0,56$  Гн и конденсатора ёмкости  $C = 30$  мкФ. Цепь включена в бытовую электросеть (напряжение  $U = 220$  В,  $\nu = 50$  Гц).
14. В цепи переменного тока используется плоский конденсатор, изолятор которого промок и он стал нагреваться. При частоте  $\nu = 50$  Гц коэффициент мощности оказался равен  $k = 0,6$ . Определить по этим данным удельное сопротивление изолятора, если его диэлектрическая проницаемость равна  $\epsilon = 4,8$ .
15. К бытовой электросети (напряжение  $U = 220$  В,  $\nu = 50$  Гц) присоединены параллельно реостат с сопротивлением  $R = 40$  Ом и дроссель с индуктивностью  $L = 80$  мГн и омическим сопротивлением  $R = 26$  Ом. По дросселю идёт ток силой  $I_1 = 2$  А. Какой ток идёт по реостату и какой ток потребляется от сети?

## Раздел «Волновая оптика»

1. Написать уравнение цилиндрической гармонической волны с частотой  $\omega$  и длиной волны  $\lambda$ , распространяющейся в однородной непоглощающей среде ( $R$  – расстояние до линейного источника волн).
2. В однородном диэлектрике ( $\epsilon = 2,25$ ;  $\mu = 1$ ) распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда индукции магнитного поля в волне  $B_0 = 10^{-4}$  Тл. Определите: а) фазовую скорость волны; б) амплитуду напряженности электрического поля; в) среднюю плотность энергии волны; г) интенсивность волны.
3. Плоская электромагнитная волна распространяется в однородной немагнитной ( $\mu = 1$ ) среде по оси  $X$ . Электрическое поле в волне меняется по закону:
4. Две световые волны создают в некоторой точке пространства колебания напряженности электрического поля, описываемые функциями  $E_{1y} = E_0 \cos \omega t$  и  $E_{2y} = E_0 \cos[(\omega + \Delta\omega)t]$ , где  $\Delta\omega = 0,628 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ . Как ведёт себя интенсивность света в этой точке?
5. Определить сдвиг  $\Delta x$  интерференционных максимумов 2-го порядка ( $m = 2$ ) в опыте Юнга после заполнения водой пространства между экраном, на котором наблюдается интерференционная картина, и преградой со щелями. Расстояние между экраном и преградой  $L = 1$  м, расстояние между щелями  $d = 1$  мм, длина волны света в вакууме  $\lambda_0 = 0,5$  мкм, показатель преломления воды  $n = 4/3$ .
6. Определить радиус  $m$ -ой зоны Френеля  $r_m$  при падении на круглое отверстие плоской волны длиной  $\lambda$ . Расстояние от отверстия до экрана равно  $l$ . Доказать, что площади всех зон Френеля одинаковы.
7. На преграду с круглым отверстием падает плоская световая волна длины  $\lambda = 0,5$  мкм. Интенсивность в центре дифракционной картины в 2 раза больше, чем в отсутствии преграды. При каком минимальном радиусе отверстия это возможно, если экран расположен на расстоянии  $l = 1$  м за препятствием.
8. Дифракционная картина наблюдается на экране, расположенном на расстоянии  $l$  от точечного источника монохроматического света ( $\lambda = 0,6$  мкм). На расстоянии  $a = 0,5l$  от источника помещена круглая непрозрачная преграда диаметром  $d = 1$  мм. Определить расстояние  $l$ , если преграда закрывает только первую зону Френеля. Что будет наблюдаться в центре экрана?
9. На щель шириной  $b = 0,4$  мм, установленную на расстоянии  $l = 2,5$  м от экрана, падает по нормали плоская световая волна с  $\lambda = 0,6$  мкм с интенсивностью  $I = 100 \text{ мВт/см}^2$ . Какой вид дифракции наблюдается в этом случае? Оценить интенсивность  $I_0$  в центре дифракционной картины.
10. Указание. Для оценки интенсивности форму центрального максимума считать приближённо близкой к треугольной.
11. Определить тип дифракции и ширину центрального дифракционного максимума  $\Delta x$  при падении плоской волны длиной  $\lambda = 0,5$  мкм на щель шириной  $b = 0,5$  мм. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии  $l = 2$  м за препятствием.
12. Пользуясь методом векторных диаграмм, найти отношение интенсивностей максимумов нулевого и первого порядка при дифракции Фраунгофера на щели.
13. Определить длину волны света  $\lambda$ , если для решётки с периодом  $d = 1,55 \cdot 10^{-3}$  мм угол  $\Delta\phi$  между максимумами 1 и 2 порядка равен  $30^\circ$ .
14. Свет с длиной волны  $\lambda$  падает по нормали на дифракционную решётку. Найти явную зависимость угловой дисперсии от угла дифракции  $\theta$ .
15. Свет с  $\lambda = 589$  нм падает по нормали на дифракционную решётку с периодом  $d = 2,5$  мкм, содержащую  $N = 104$  штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка ( $m = 2$ ).
16. Свет падает по нормали на дифракционную решётку шириной  $l = 6,5$  см, имеющую  $n = 200$  штрихов на миллиметр. Определить, в каком порядке спектра могут быть разрешены спектральные линии соответствующие длинам волн  $\lambda_1 = 670,800$  нм и  $\lambda_2 = 670,815$  нм.
17. Определить интенсивность  $I_{\perp}$  плоскополяризованного света, вышедшего из идеального поляризатора, при падении на него естественного

света с интенсивностью  $I_0$ .

18. На совершенный поляризатор падает поляризованный по кругу свет, интенсивность которого равна  $I_0$ . Какова будет интенсивность света за поляризатором?
19. Степень поляризации частично поляризованного света  $P = 0,25$ . Найти отношение интенсивности плоскополяризованной составляющей этого света  $I_1$  к интенсивности естественной  $I_*$ .
20. Определить степень поляризации  $P$  света, представляющего собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если отношение к интенсивности поляризованного света к интенсивности естественного равно: а) 1; б) 10?

### 3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

#### 3.1. Вопросы к экзамену

1. Свободные колебания систем с одной степенью свободы. Модель «гармонический осциллятор». Энергия колебаний механического и электрического гармонического осциллятора.
2. Гармонический осциллятор. Дифференциальное уравнение гармонического осциллятора и его решение. Энергия колебаний гармонического осциллятора.
3. Свободные колебания связанных осцилляторов. Нормальные координаты и нормальные моды для системы, состоящей из двух одинаковых связанных осцилляторов.
4. Типы молекулярных колебаний (валентные и деформационные, симметричные и антисимметричные, на примере молекул  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ).
5. Дифференциальное уравнение осциллятора с малым затуханием и вид его решения. Характеристики свободных затухающих колебаний: время релаксации, декремент затухания, добротность.
6. Затухающие колебания. Осциллятор с малым затуханием. Характеристики затухающих колебаний.
7. Дифференциальное уравнение осциллятора с затуханием. Осциллятор в «критическом режиме» (вид решения).
8. Дифференциальное уравнение осциллятора с затуханием и вид его решения для случая большого затухания.
9. Энергия колебаний механического и электрического гармонических осцилляторов. Время релаксации энергии затухающих колебаний. Добротность.
10. Дифференциальное уравнение для вынужденных гармонических колебаний и его решение методом векторных диаграмм.
11. Вынужденные гармонические колебания. Резонансы смещения и скорости.
12. Вынужденные колебания. Резонанс. Ширина резонансной кривой. Добротность и резонансные свойства колебательной системы.
13. Вынужденные гармонические колебания. Зависимость амплитуды и фазы установившихся вынужденных колебаний от частоты вынуждающего воздействия.
14. Мощность, затрачиваемая на поддержание вынужденных колебаний. Связь ширины «резонансной кривой» с добротностью осциллятора.
15. Условие квазистационарности переменного тока. Закон Ома для участка цепи переменного тока. Сопротивление участка цепи переменного тока.

16. Мощность, рассеиваемая в цепи переменного тока. Эффективные (действующие) значения переменного тока и напряжения.
17. Резонанс в цепи, состоящей из последовательно соединённых резистора ( $R$ ), катушки индуктивности ( $L$ ) и конденсатора ( $C$ ) – « $RLC$ -контуре».
18. Классическое дифференциальное волновое уравнение. Уравнения плоской и сферической бегущих гармонических волн. Учёт поглощения волны средой.
19. Уравнение бегущей гармонической волны. Энергетические характеристики упругих и электромагнитных волн: плотность потока энергии, интенсивность, векторы Умова и Пойнтинга.
20. Уравнение электромагнитной волны в однородной непроводящей среде. Связь между амплитудами и фазами колебаний векторов  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  в электромагнитной волне.
21. Интерференция волн от двух точечных источников. Когерентные волны. Опыт Юнга.
22. Интерференция света. Роль некогерентности источника. Время и длина когерентности.
23. Опыт Юнга. Роль некогерентности источников и их конечных размеров. Время и длина когерентности. Радиус когерентности.
24. Интерференция света в тонких плёнках. «Полосы равной толщины» и «полосы равного наклона».
25. Интерференционная «рефрактометрия» на примере схемы Юнга.
26. Дифракция волн. Принцип Гюйгенса–Френеля. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Метод зон Френеля.
27. Дифракция волн. Принцип Гюйгенса–Френеля. Амплитудная и фазовая «зонные пластинки».
28. Дифракция Фраунгофера на щели. Условия максимумов и минимумов дифракционной картины.
29. Понятие о классификации волновых явлений (дифракция Френеля, дифракция Фраунгофера, приближение геометрической оптики).
30. Роль дифракции в формировании оптических изображений. Условие разрешения близких объектов оптическими приборами.
31. Дифракционная решётка. Структура дифракционной картины. Условия главных максимумов и минимумов.
32. Характеристики дифракционной решётки как спектрального аппарата: свободная спектральная область, угловая и линейная дисперсии, разрешающая способность.
33. Разрешающая способность дифракционной решётки. Критерий Релея разрешения двух близких спектральных линий.
34. Поляризация света. Типы (виды) поляризации света. Степень поляризации света. Закон Малюса.
35. Плоско поляризованный и естественный свет. Степень поляризации света. Законы Малюса и Бугера-Ламберта-Бера.
36. Представление о закономерностях излучения диполя. Диаграмма направленности излучения диполя. Поляризация при рассеянии света.
37. Поляризация при рассеянии света. Рассеяние мутными средами и молекулярное рассеяние. Закон Рэлея. Понятие о рассеянии Ми.
38. Представление о закономерностях излучения диполя. Диаграмма направленности излучения диполя. Поляризация света при отражении от поверхности диэлектрика. Угол Брюстера.
39. Прохождение света через анизотропное одноосное вещество. Оптическая ось. Обыкновенный и необыкновенный лучи. Кристаллические пластинки « $\lambda/2$ ».
40. Получение и анализ эллиптически и циркулярно поляризованного света. Кристаллические пластинки « $\lambda/4$ ».

### 3.2. Описание показателей и критериев оценивания

Шкала оценивания знаний, умений и навыков является единой для всех дисциплин (приведена в таблице ниже)

<b>ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)</b>				
Оценка	2	3	4	5
Результат				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения)	Отсутствие навыков	Наличие отдельных навыков	В целом, сформированные навыки, но не в активной форме	Сформированные навыки, применяемые при решении задач

#### Критерии оценивания устного ответа на экзамене

Критерии оценки	Характеристика требований к результатам аттестации
Полнота знаний программного материала	Обучающийся дал полный и правильный ответ, который изложен в определенной логической последовательности. Правильно и полно давал ответы на дополнительные вопросы ИЛИ допустил незначительные ошибки.
	Обучающийся продемонстрировал достаточную полноту знаний, при наличии несущественных неточностей, ответ изложен в логической последовательности. При ответе на дополнительные вопросы допустил незначительные ошибки.
	Обучающийся продемонстрировал фрагментарные знания и допускает неточности в определении понятий. При ответах на дополнительные вопросы допускал ошибки.
	Обучающийся продемонстрировал незнание значительной части материала. Не смог дать ответы на дополнительные вопросы.
Системность и обобщенность знаний	Обучающийся продемонстрировал полное понимание материала, изложение материала системное, раскрыл вопрос с опорой на аргументы, которые сформулированы четко
	Обучающийся продемонстрировал достаточно глубокое понимание материала, изложение материала системное, приводятся связанные между собой и другими компонентами аргументации понятия или положения
	Обучающийся допустил ошибки, нарушил системность изложения материала, использовал определения, положения и выводы, не связанные непосредственно с раскрываемым вопросом
	Обучающийся продемонстрировал непонимание материала, не смог обосновать свои суждения и привести свои

	примеры
Корректность употребления терминологического аппарата дисциплины	Обучающийся продемонстрировал хорошее знание терминов дисциплины, корректность их употребления при ответах на вопросы, в том числе дополнительные.
	Обучающийся продемонстрировал знание основных терминов дисциплины. Допущено не более 2–3-х ошибок в употреблении терминов при ответах на вопросы, в том числе дополнительные
	Обучающийся продемонстрировал знание основных терминов дисциплины. Допущено некорректное их употребление при ответах на вопросы.
	Обучающийся продемонстрировал незнание основных терминов дисциплины. Допущены серьезные ошибки при их употреблении в ответах на вопросы
Самостоятельные оценочные суждения	Обучающийся продемонстрировал способность обосновывать и излагать свои оценочные суждения, доказывать, отстаивать свою точку зрения
	Обучающийся продемонстрировал способность излагать свои оценочные суждения, доказывать, отстаивать свою точку зрения
	Обучающийся продемонстрировал умение излагать свои оценочные суждения, неубедительно доказывает свою точку зрения
	Обучающийся не продемонстрировал умение излагать свои оценочные суждения, не доказывает и не отстаивает свою точку зрения

### Соответствие оценок и критериев ответа на экзамене

Оценка	Характеристика требований к результатам аттестации
«Отлично»	Теоретическое содержание освоено полностью без пробелов, системно и глубоко. Необходимые умения и практические навыки работы с освоенным материалом сформированы. Все задания выполнены безупречно, качество их выполнения оценено числом баллов близким к максимуму.
«Хорошо»	Теоретическое содержание освоено в целом без пробелов. Необходимые умения и практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Все задания выполнены с отдельными неточностями, качество выполнения большинства заданий оценено числом баллов близким к максимуму.
«Удовлетворительно»	Теоретическое содержание освоено большей частью, но пробелы не носят существенного характера. Необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы. Большинство заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки. .
«Неудовлетворительно»	Теоретическое содержание освоено частично. Необходимые умения и навыки работы не сформированы или сформированы отдельные из них.